A. hydr. 47 ÿ -1,1 Hagen.

BIBLIOTECA
REGIA
MONACENSIS.

<36630088590015

<36630088590015

Bayer. Staatsbibliothek

A. hydr. 47 y - 1,1

Handbuch

der

Wasserbaukunst

von

G. Hagen,
Königlich Preussischem Geheimen Ober-Baurathe und Lehrer an der Königlichen Allgemeinen Bauschule.

Erster Theil:

Die Quellen.

Mit 21 Kupfertafeln.

Königsberg in Preussen
bei den Gebrüdern Bornträger.
1841.

56. D.

BIBLIOTHECA
REGIA
MONACENSIS.

Vorrede.

Der vorliegende erste Theil des Handbuches der Wasserbaukunst enthält die Beschreibung derjenigen Anlagen, wodurch kleinere Wassermassen aufgefangen, geleitet, abgesperrt oder in ihren Wirkungen unschädlich gemacht werden; er behandelt also im Allgemeinen die Quellen. Die beiden folgenden Theile, zu denen die Materialien grösstentheils schon gesammelt und geordnet sind, werden die Ströme und das Meer umfassen.

Die einzelnen Gegenstände sind in der Art vorgetragen, dass zuerst der Zweck und die Wirksamkeit jeder hydrotechnischen Anlage näher erörtert und daraus die Bedingungen und Rücksichten hergeleitet werden, die man bei der Anordnung des Baues oder bei der Entwerfung des Projectes zu beobachten hat; sodann aber werden die verschiedenen Constructionsarten, soweit sie in jedem Falle angewendet sind, möglichst vollständig beschrieben.

Um die Wirkungen der Wasserbauwerke richtig zu beurtheilen, ist es nöthig, den Zusammenhang der dabei vorkommenden Erscheinungen aufzufassen. Die Erfolge, die man herbeiführen will, und ebenso auch diejenigen,

*

die zuweilen unerwartet eintreten, können zwar nur in den Gesetzen der Mechanik und in den physischen Eigenschaften der Körper ihre Begründung finden; man sucht aber meist vergeblich in der Mechanik und Physik die Aufklärung der Verhältnisse, die hier vorkommen. Manche Erscheinungen, die für den Wasserbau besonders wichtig sind, blieben bisher beinahe ganz unbeachtet, und bei andern hat man sich damit begnügt, gewisse algebraische Ausdrücke mit einigen wenigen Messungen ungefähr in Uebereinstimmung zu bringen. Auf solche Art sind die meisten sogenannten Theorien entstanden; allgemeine Gültigkeit kann man von ihnen eben so wenig erwarten, als sie eine solche wirklich zeigen, doch eben deshalb dürfen sie weder als unumstössliche Wahrheiten angesehen werden, durch deren Entdeckung jede weitere Untersuchung abgeschnitten wurde, noch auch liefern sie den Beweis, dass eine gründliche Forschung in diesem Gebiete zu keinem sichern Resultate führt. Ihre Unhaltbarkeit ist die natürliche Folge ihrer Unvollständigkeit. Vor Allem fehlte es bisher an genauen und vielseitigen Beobachtungen, die einer umfassenden Theorie zum Grunde gelegt werden konnten; sodann aber geschah die Zusammenstellung und Benutzung der beobachteten Resultate auch gar zu willkührlich und keineswegs nach den bestimmten Methoden, welche die Mathematik auf ihrem gegenwärtigen Standpunkte für solche Fälle bezeichnet.

Die weitere Ausbildung des wissenschaftlichen Theiles der Wasserbaukunst steht mit der Praxis in sehr naher Beziehung, denn nur durch sie darf man diejenige Sicherheit in der Anordnung der Wasserbauwerke zu erreichen hoffen, welche man so häufig vermisst und deren Mangel sich noch immer in der Unzulänglichkeit mancher Anlagen

zu erkennen giebt. Die Ausfüllung dieser Lücke ist ohne eine kräftige Unterstützung von Seiten der Gouvernements gar nicht denkbar. Zunächst kommt es indessen darauf an, die Lücken bestimmt nachzuweisen und zu zeigen, ob und in welchem Falle man den Regeln und Formeln, die der Wasserbaumeister gegenwärtig benutzt, einige Gültigkeit beilegen darf; ich habe es versucht, diese Aufgabe zu lösen.

Die verschiedenen Constructionen, die man bei gleichartigen Anlagen wählen kann und an verschiedenen Orten auch wirklich zu wählen pflegt, sind zum Theil durch Localverhältnisse bedingt, zum Theil aber stehen sie sich an Zweckmässigkeit und Solidität auch keineswegs gleich; einzelne darunter verdienen ohne Zweifel eine allgemeinere Anwendung. Ich habe mich bemüht, sie möglichst vollständig zu sammeln, und soweit es geschehen konnte, auch die Data anzuführen, welche ein Urtheil über ihre Brauchbarkeit begründen. Indem die Einführung des Neuen und Fremden gewöhnlich Misstrauen erregt, so wäre kaum zu erwähnen, dass man dieses nur mit grosser Vorsicht versuchen darf. Dagegen muss man aber auch nicht unbeachtet lassen, dass eine Methode, die durch lange Praxis sich bereits bewährt hat, deshalb noch nicht unbedingt die beste ist, und wenn der Versuch, sie durch eine andere zu ersetzen, missglückt, so folgt daraus wieder noch nicht immer, dass die neue Methode an sich unpraktisch war, denn auch durch Unvorsichtigkeit missräth Vieles.

Die ausführende Wasserbaukunst ist in der neueren Zeit hauptsächlich durch die vielfache Anwendung von Maschinen sehr vervollkommnet worden. Die Prüfung und Zubereitung der Materialien, ihre Versetzung und

Aufstellung, sowie auch die Untersuchung ihrer spätern Lage lässt sich zuweilen durch besondere Maschinen viel sicherer, schneller, und wenn die Operationen sich vielfach wiederholen, auch wohlfeiler bewirken, als dieses durch unmittelbare Handarbeit und durch gewöhnliche Werkzeuge möglich war. Die Maschinenlehre ist sonach ein wesentlicher Theil der Wasserbaukunst geworden, und wenn die Kenntniss derselben im Allgemeinen auch vorausgesetzt werden musste, so konnte die Beschreibung der hierher gehörigen Apparate doch um so weniger umgangen werden, als eine grosse Vorsicht und Ueberlegung bei ihrer Anordnung und Aufstellung unerlässliche Bedingung ist.

Berlin, im December 1840.

G. Hagen.

Inhalts-Verzeichniss
des ersten Theiles.

Abschnitt I. Atmosphärischer Niederschlag und Verdunstung Seite 1
§. 1. Entstehung des Regens „ 3
§. 2. Messung der Regenmenge „ 7
§. 3. Beobachtete Regenmengen „ 11
§. 4. Quantität der Verdunstung „ 17
§. 5. Cisternen „ 22
Abschnitt II. Quellen und Brunnen „ 31
§. 6. Wassermenge der Quellen „ 33
§. 7. Quellenbildung „ 39
§. 8. Brunnen mit weiten Kesseln „ 63
§. 9. Ueber Artesische Brunnen im Allgemeinen „ 80
§. 10. Artesische Brunnen: das Gestänge „ 99
§. 11. Artesische Brunnen: die Bohrer „ 110
§. 12. Artesische Brunnen: die Futterröhren „ 127
§. 13. Ausführung der Artesischen Brunnen mit festem Gestänge „ 139
§. 14. Das Seilbohren „ 156
Abschnitt III. Wasserleitungen „ 163
§. 15. Ausfluss des Wassers durch Oeffnungen in dünnen Wänden „ 165
§. 16. Ausfluss des Wassers durch Ansatzröhren „ 196
§. 17. Bewegung des Wassers in Röhrenleitungen „ 204
§. 18. Speisung der Leitungen „ 228
§. 19. Messung des Wassers in den Leitungen „ 250
§. 20. Ansammlung des Wassers „ 259
§. 21. Filtriren des Wassers „ 271
§. 22. Leitungsröhren von Holz, Stein und Blei „ 290
§. 23. Gusseiserne Leitungsröhren „ 312
§. 24. Versorgung grosser Städte mit Wasser „ 338

Abschnitt IV. Entwässerungen und Bewässerungen Seite 361
§. 25. Vorarbeiten für Entwässerungsanlagen „ 363
§. 26. Beförderung der Vorfluth „ 379
§. 27. Entfernung des fremden Wassers „ 392
§. 28. Abzugsgräben „ 406
§. 29. Colmationen „ 416
§. 30. Sickergräben „ 427
§. 31. Bewässerungsanlagen „ 435
Abschnitt V. Fundirung „ 451
§. 32. Allgemeine Anordnung der Fundirungen „ 453
§. 33. Fundirung auf festem Boden „ 470
§. 34. Verbreitung des Fundamentes „ 484
§. 35. Der Pfahlrost „ 506
§. 36. Die Zugramme „ 526
§. 37. Die Kunstramme „ 570
§. 38. Rostpfähle „ 587
§. 39. Tragfähigkeit der Pfähle „ 607
§. 40. Spundpfähle „ 618
§. 41. Die Grundsäge „ 636
§. 42. Ausziehen der Pfähle „ 650
§. 43. Darstellung der Baugrube „ 671
§. 44. Umschliessung der Baugrube „ 682
§. 45. Trockenlegung der Baugrube „ 711
§. 46. Schöpfmaschinen „ 719
§. 47. Fundirung auf Béton „ 760
§. 48. Fundirung in Caissons „ 801

Erster Abschnitt.

Atmosphärischer Niederschlag und Verdunstung.

Bayerische Staatsbibliothek München

Bayerische
Staatsbibliothek
München

§. 1.

Entstehung des Regens.

Verschiedene hydrotechnische Anlagen haben allein den Zweck, dasjenige Wasser zu sammeln oder abzuleiten, welches als Regen oder Schnee auf die Erdoberfläche herabfällt. Schon aus diesem Grunde wird die Erwähnung einiger Beobachtungen über die Menge des atmosphärischen Niederschlages nicht überflüssig erscheinen; der Gegenstand gewinnt aber für den Wasserbaumeister noch im hohen Grade an Wichtigkeit, indem das Wasser, welches als Regen oder in andern Formen sich aus der Luft niederschlägt, die alleinige Veranlassung zum Entstehen der meisten Quellen ist, und Bäche und Flüsse und Ströme ihren Ursprung und ihre Speisung demselben allein verdanken.

In den Bächen und Flüssen wird jedoch nicht die ganze Wassermenge des atmosphärischen Niederschlages aufgenommen; ein grosser Theil desselben wird durch die Verdunstung schon früher der Erdoberfläche entführt. Kennt man nun das Maass beider, so wird man aus der Ausdehnung der Fläche, die dem Flusse das Wasser liefert, auf seine Reichhaltigkeit schon ungefähr schliessen können. Es zeigt sich freilich, dass theils die Beobachtungen über die Menge des Niederschlages sehr abweichende Resultate geben, und theils auch die Beschaffenheit des Terrains einen sehr grossen Einfluss auf die Bildung der Quellen ausübt: wenn aber keine directe Messung der Wassermenge möglich ist, so gewährt diese Methode doch wenigstens einigen Anhalt, und namentlich wird man in den Fällen sie benutzen müssen, wenn es darauf ankommt, das Verhalten unter gewissen Umständen zu beurtheilen, zu deren directer Beobachtung die passende Gelegenheit nicht abgewartet werden kann.

Die Ursache der Circulation des Wassers, wodurch dasselbe von sumpfigen Niederungen und selbst von dem Ocean zurück auf die höchsten Gebirge geführt, und über die ganze Oberfläche der Erde verbreitet wird, beruht in der Eigenschaft der Luft, eine gewisse Quantität Wasserdunst in sich aufzunehmen, die sie jedoch unter veränderten Umständen wieder ausstösst. Je weniger Wassertheilchen die Luft enthält, um so begieriger saugt sie das Wasser auf, und um so stärker verdunstet daher eine von ihr berührte Wasserfläche. In dem Maasse, wie sich aber der Wasserdunst in der Luft anhäuft, vermindert sich auch die Kraft der letztern, noch mehr Wassertheilchen aufzuziehen, und es tritt endlich eine vollständige Sättigung ein, worauf die Verdunstung aufhört. Dieser Sättigungspunkt ist jedoch nicht constant, sondern von der Temperatur abhängig: je wärmer die Luft ist, desto mehr Wasser nimmt sie auf. Ein Cubikfuss atmosphärische Luft kann bei einer Temperatur von 0 Grad Reaumur nur 2,7 Gran Wasser einsaugen,

bei 6°	-	- dagegen	4,5	-	-
bei 12°	-	-	- 6,5	-	-
bei 18°	-	-	- 9,7	-	-

Wird sonach eine mit Wasserdunst gesättigte Luftmasse erwärmt, so erhält sie von Neuem das Vermögen, noch mehr Wasser in sich aufzunehmen; wird sie abgekühlt, so stösst sie einen Theil des Wassers von sich, das sie bisher gebunden hatte. Letzteres scheidet sich dann als sichtbarer und feuchter Nebel oder Wolke aus der bisher ganz durchsichtigen Luft, und wie die feinen Wassertheilchen sich nach und nach zu Tropfen verbinden, so fallen sie als Regen nieder.

Die vorstehende kleine Tabelle zeigt noch, dass gleichen Temperaturveränderungen nicht gleiche Wassermengen entsprechen, sondern dass bei höherer Temperatur eine Aenderung von 6° entweder die Luft zur Aufnahme einer viel grösseren Wassermenge fähig macht, oder solche aus derselben ausstösst, als bei einer niedrigeren Temperatur. Hieraus folgt zunächst, dass im Allgemeinen die atmosphärischen Niederschläge in heissen Zonen viel reichhaltiger sein müssen, als in kalten. Es ergiebt sich daraus aber ferner, dass zur Bildung dieser Niederschläge keine fremdartige Veranlassung zur Abkühlung der Luft erforderlich ist, sondern dass zwei mit Wasserdunst gesättigte Luftmassen von ver-

schiedener Temperatur bei ihrem Zusammentritt und bei erfolgender Ausgleichung jedesmal einen Theil des enthaltenen Wassers ausstossen, indem die mittlere Temperatur nicht mehr der mittleren Wassermenge entspricht, sondern immer einer kleinern, woher ein Theil derselben frei wird. Dem letzten Umstande scheinen die atmosphärischen Niederschläge vorzugsweise ihre Entstehung zu verdanken, und es darf nicht mehr befremden, dass dieselben so höchst ungleichmässig über die Erdoberfläche vertheilt sind. Diejenigen Flächen, welche der Einwirkung der Sonne durch Waldungen oder vortretende Gebirge entzogen sind, und welche daher kühl und feucht bleiben, können bei eintretender Luftcirculation nur einen kältern mit Wasser gesättigten Luftstrom dem wärmeren entgegen stellen. In ihrer Nähe wird daher vorzugsweise häufiger Regen sich zeigen. Oede Steppen dagegen von grosser Ausdehnung, welche der Erhitzung durch die Sonnenstrahlen ganz frei gestellt sind, theilen die Wärme, die sie empfangen haben, der umgebenden Luft aufs Neue mit und steigern dadurch deren Capacität zur Aufnahme von Wasser. Auf solche Art rückt der Sättigungspunkt noch weiter heraus: ein Zusammentreffen mit einem kältern gesättigten Luftstrom giebt keinen Niederschlag mehr und die Trockenheit des Landes ist selbst der Grund des seltenen Regens.

Besonders auffallend ist in dieser Beziehung der Einfluss der Waldungen. In früher Zeit wurden in Ober-Aegypten Reisende durch Regen aufgehalten, seitdem aber die Araber alle Bäume daselbst gefällt haben, regnet es gar nicht mehr. Der umgekehrte Fall ist in Nieder-Aegypten eingetreten: bei der französischen Expedition hatte es nach der Mittheilung des Marschalls Marmont, vom Novbr. 1798 bis Ende August 1799 in Cairo nur einmal, und zwar nur eine halbe Stunde geregnet: jetzt dagegen, nachdem der Vicekönig die Baumcultur so sehr gehoben hat, und wie man sagt, 20 Millionen Stämme hat pflanzen lassen, giebt es daselbst im Jahre 30 bis 40 Regentage, und im Winter regnet es nicht selten bis 5 Tage nach einander fort.*) Auf eine minder

*) Die neuesten Verhandlungen in der Akademie der Wissenschaften zu Paris haben gegen diese Angabe einige Zweifel angeregt, woher die Veränderung des Klima's in Aegypten nicht ganz so gross zu sein scheint, wie der Bericht des Marschall Marmont besagte.

auffallende Weise hat man auch in Europa und in Nord-Amerika bemerkt, wie das Lichten der Waldungen eine Verminderung des Regens zur Folge hat. *)

In einem heissen Klima und auf weit ausgedehnten kahlen Flächen kann die Verdunstung im Verhältnisse zum Niederschlage so zunehmen, dass Wassermengen, welche sich schon zu Strömen angesammelt hatten, beim Eintritte in grosse Niederungen oder weite Landseen wieder vollständig verdunsten: die Seen dieser Art können also nicht überfliessen, oder sie haben keinen Abfluss nach dem Ocean. Wahrscheinlich werden solche Erscheinungen zuweilen noch durch andere locale Umstände befördert; finden sich z. B. grosse Salzablagerungen in der Nähe, so wird bei einer zufälligen Temperaturerniedrigung der Wassergehalt der Luft noch vor dem Eintritte des Sättigungspunktes von dem Salze schon stark absorbirt, und sonach wird selbst während der Erkältung die Verdunstung dauernd unterhalten.

Für unser Klima ist das Eintreten solcher Verhältnisse undenkbar, wenigstens können sie sich nur im kleinen Maassstabe zeigen. Sehr beachtungswerth bleibt aber immer die Folgerung, dass durch das Ausroden der Waldungen und durch Einführung des Ackerbaues nicht nur die Verdunstung befördert wird, und sonach die Quellen minder reichhaltig werden, da sie nur den Ueberschuss des Niederschlages gegen die Verdunstung den Strömen zuführen, sondern dass ausserdem auch die Masse des Niederschlages selbst sich vermindert. So sollen in Nord-Amerika die heftigen und anhaltenden Frühlingsregen in den Gegenden sehr merklich abnehmen, wo die Waldungen verschwinden, und es dürfte auch hierin die Erklärung mancher klimatischen Veränderung in Europa liegen.

Die verschiedenartigen Formen, in denen der atmosphärische Niederschlag sich zeigt, sind vorzugsweise Regen, Schnee und Hagel, und auf diese bezieht sich das vorstehend Gesagte. Der Thau, der bei niedriger Temperatur sich als Reif darstellt, gehört freilich auch hierher, doch ist er von jenen in so fern verschieden, als sein Eintreten und seine Reichhaltigkeit von der Beschaffenheit der Körper abhängt, an denen er sich zeigt. Wenn letztere in

*) Poggendorff's Annalen, Band 38, S. 622.

klaren Nächten die Wärme stark ausstrahlen, und sonach schnell erkalten, so kühlen sie auch die zunächst umliegende Luftschicht ab, und indem dadurch wieder Wassertheilchen frei werden, sammeln sich solche als Thautröpfchen auf dem Rasen, oder bei stärkerer Abkühlung bilden sie die feinen Eiskrystalle, die man Reif nennt. Auf diese Bildung hat aber die Beschaffenheit der Erdoberfläche einen sehr wesentlichen Einfluss, ein kahler Boden zeigt selten Spuren davon, während der Rasen durch den Thau benetzt wird: ebenso vermisst man den Thau in Waldungen, und allgemein wird er auf den Flächen am häufigsten vorkommen, welche durch eine besonders freie Lage der stärksten Wärmeausstrahlung fähig sind. Unter diesen Umständen bietet die Messung der jährlich niederschlagenden Thaumenge grosse Schwierigkeiten dar, und sie bleibt sehr unsicher. Dalton schätzte ihre Höhe für England (wahrscheinlich viel zu hoch) auf 5 Zoll, zu Viviers wurde dagegen diese Höhe nur zu 2,9 Linien beobachtet. *) Für den vorliegenden Zweck ist der Umstand besonders wichtig, dass bei weitem der grösste Theil des Thaues wieder durch Verdunstung entschwindet und nur selten ein Tropfen auf den Boden gelangt; es kann daher diese Form des Niederschlages hier ganz unbeachtet bleiben.

§. 2.

Messung der Regenmenge.

Zur Bestimmung der Wassermenge, die als Regen niederfällt, dient der Regenmesser oder Ombrometer, und mit demselben kann auch der Hagel gemessen werden, wenn er geschmolzen ist. Der Schnee bietet dagegen einige Schwierigkeit dar, indem er bei seiner grossen Beweglichkeit sich so verschiedenartig ablagert, dass man kaum annehmen kann, dass die im Ombrometer aufgefangene Masse desselben wirklich der niedergefallenen Quantität entspricht. Jedenfalls muss aber auch der Schnee zuerst geschmolzen, und das daraus erhaltene Wasser bestimmt werden, denn bei der sehr ungleichmässigen Dichtigkeit des Schnees, dessen spezifisches Gewicht zwischen $\frac{1}{2}$ und $\frac{1}{24}$ variirt, kann die Höhe desselben keinen Maassstab für die Masse abgeben.

*) Forbes, Abriss der Meteorologie.

Der gewöhnliche Regenmesser (Taf. I. Fig. 1.) besteht aus einem Kasten von 1 bis 4 Quadratfuss Oberfläche, der mit einer niedrigen Seitenwand versehen, und oben offen ist; den Boden bildet eine flache Pyramide, um die Ansammlung des Wassers zu befördern; letzteres fliesst von der Mitte aus durch eine Röhre in ein darunter gestelltes Gefäss, worin die Wassermenge später durch unmittelbares Ausmessen oder durch Abwiegen bestimmt wird. Auf diese Art erfährt man, wie viele Cubikzolle Wasser in den Kasten gefallen sind: dividirt man diese Anzahl von Cubikzollen durch die Oberfläche des Kastens, in Quadratzollen ausgedrückt, also für die angenommene Grösse des Regenwassers von 4 Quadratfuss durch 576, so ergiebt sich, wie hoch das beim Regen herabgefallene Wasser den Erdboden bedecken würde, wenn derselbe horizontal, und zum Einsaugen des Wassers nicht fähig wäre. Diese Höhe gilt gewöhnlich für das Maass, in welchem man die Quantität des Regens ausdrückt.

Damit Beobachtungen dieser Art einigermaassen genau ausfallen, muss zunächst für die waagerechte Aufstellung des Kastens, und zwar des obern Randes gesorgt werden, weil sonst beim schrägen Herabfallen der Tropfen leicht zu viel oder zu wenig Wasser aufgefangen werden könnte. Ferner wird nach dem Regen ein Theil des Wassers an den Wänden und auf dem Boden des Kastens haften bleiben, ohne in das Gefäss zu fliessen; bei schwachem Regen kann es sogar geschehen, dass die ganze Masse hier hängen bleibt, und durch die bald darauf erfolgende Verdunstung sich der Beobachtung gänzlich entzieht. Durch Auswischen mit einem Schwamme, der vorher gewogen ist, kann man auch diese Wassermasse auffangen und untersuchen. Endlich bietet das untergestellte Gefäss, wenn es eine passende Form hat, zwar nur eine geringe Wasseroberfläche dar, und die Verdunstung in demselben ist alsdann nicht bedeutend: nichts desto weniger kann letztere sehr stark anwachsen, wenn die Nachmessung erst viel später vorgenommen wird. Um in dieser Beziehung die Beobachtungen möglichst bequem einzurichten, hat man den Gebrauch eines Apparates vorgeschlagen, wodurch die ausfliessende Wassermenge eine Art Uhrwerk in Bewegung setzt, und sich dadurch selbst registrirt, in ähnlicher Art, wie auf den Salinen die gehobene Soole gewöhnlich gemessen wird. Dass durch dieses Mittel die

Genauigkeit der Beobachtung sehr verliert, bedarf kaum der Erwähnung: nichts desto weniger theile ich die Beschreibung einer Vorrichtung dieser Art dennoch mit, weil dieselbe auch in andern Fällen, wie z. B. bei Wasserleitungen zuweilen Anwendung findet, und zwar wähle ich eine Einrichtung, welche bei einer Saline, also für grössere Wassermassen vorkommt.

In Fig. 2 sind *A* und *B* zwei gleich grosse Kasten, deren jeder etwa 10 Cubikfuss fasst; das Wasser oder die Soole fliesst aus der Röhre *L* durch den Trichter *R* in einen oder den andern dieser Kasten, je nachdem der Trichter die in der Figur angedeutete Lage, oder eine entgegengesetzte einnimmt. Dieser Trichter ist nämlich am Balancier *C D* befestigt und kann sich mit demselben um die horizontale Axe *K* drehen. Damit der Balancier nicht schwankt und jedesmal eine Stellung behält, wobei das Wasser über die Mittelwand fort nach einem oder dem andern Kasten fliesst, so liegt in jedem Arme des Balanciers eine eiserne Kugel *E*, *C*, von denen die äussere, also in der Figur die Kugel *C*, ein entschiedenes Uebergewicht bildet. Sobald der Kasten *A* beinahe bis zum Rande angefüllt ist, fängt das Wasser an, durch eine Seitenrinne in den kleinen Eimer *N* überzufliessen, und füllt denselben sehr schnell an, obgleich er im Boden mit einer geringen Oeffnung versehen ist. Dieser Eimer hängt am Ende des Balanciers, und wenn er beinahe gefüllt ist, so hebt er das Uebergewicht der Kugel *C* auf und verursacht dadurch die Drehung des Balanciers. Letzterer bewegt sich Anfangs langsam, aber sobald er die horizontale Lage überschreitet, so fangen auch die Kugeln *C* und *E* zu rollen an, und indem die letzte von beiden nach *D* gelangt; so stösst der Balancier mit Heftigkeit auf die Seitenwand des Kastens *A* und nimmt diese Stellung mit Sicherheit ein, wodurch das Wasser nunmehr in den Kasten *B* geführt und der leere Eimer *M* gehoben wird. Im letzten Momente der Bewegung des Balanciers wird aber noch mittelst einer über die Rolle geführten Leine die Klappe *P* am Boden des Kastens *A* gehoben, und die darin befindliche Wassermasse stürzt mit Heftigkeit heraus: aber auch aus dem Eimer *N* fliesst durch die im Boden angebrachte kleine Oeffnung das Wasser in kurzer Zeit ab. Auf solche Art füllt sich abwechselnd der eine und der andere Kasten, und die beiden Sperrhaken, die vom Balancier nach dem

Rade *Q* hinaufgehen, von denen der eine zieht und der andere schiebt, rücken bei jedem einzelnen Stosse des Balanciers das Rad um einen Zahn und zwar immer in derselben Richtung weiter: woher der an der Axe befestigte Zeiger genau die Anzahl der vorkommenden Abwechselungen bezeichnet. Durch Verstellung der Abflussrinnen, welche das Wasser aus dem Kasten in die Eimer leiten, und durch andere Veränderungen, kann man aber leicht die Einrichtungen so treffen, dass die gesammte Wassermasse, die jedesmal in einen Kasten fliesst, ein bestimmtes Volumen einnimmt: und diese Regulirung wird so lange gelten, als der Wasserzufluss durch die Röhre *L* nicht gar zu ungleichförmig ist.

Zur Messung der Regenmenge wendet man nicht so complicirte Apparate an, vielmehr begnügt man sich für diesen Zweck mit einem kleinen Kipptroge Fig. 3, bei dem das Wasser jedesmal in das obere Reservoir fliesst, welches durch die Füllung selbst das Uebergewicht bildet, und dadurch die veränderte Stellung hervorbringt. Um die Anzahl der erfolgten Stösse zu markiren, darf aber auch hier die Anbringung eines Räderwerks nicht fehlen. Es muss dabei noch bemerkt werden, dass Fig. 3, um die Aufstellung des Kipptroges zu verdeutlichen, zwar mit Fig. 1 in Verbindung gesetzt, jedoch in einem viel grösseren Maassstabe, als die erstere gezeichnet ist.

Endlich zeigt sich beim Gebrauche des Regenmessers noch eine sehr bedeutende Unsicherheit, indem die Höhe, worin er aufgestellt ist, einen augenscheinlichen Einfluss auf das Resultat ausübt, und zwar findet man die Regenmenge um so kleiner, je grösser die Höhe ist, in welcher die Beobachtungen angestellt werden. Die auf der Terrasse der Pariser Sternwarte und dicht darneben, 27 Meter tiefer, angestellten Beobachtungen zeigen, dass durchschnittlich für neun Jahr, beide Regenmengen sich zu einander verhalten, wie 23 zu 26, und Dalton bemerkte schon, dass auf einem 150 Fuss hohen Thurme die Regenmenge im Sommer um ein Drittel und im Winter sogar um die Hälfte geringer ausfällt als die, welche unten beobachtet wird. Eben so grosse Unterschiede hat man auch in neuerer Zeit in York wahrgenommen: ein Regenmesser war in einem Garten, ein zweiter 44 Fuss höher auf dem Museum und ein dritter wieder 169 Fuss

höher auf dem Münster aufgestellt. Die jährlichen Regenmengen ergaben sich *)

	im Garten —	auf d. Museum —	auf d. Münst.
vom Febr. 1832—1833:	23,8 Zoll	20,2 Zoll	15,7 Zoll
vom Febr. 1833—1834:	25,7 -	19,9 -	15,0 -

Fragt man nach der Ursache dieser auffallenden Erscheinung, so zeigen die einzelnen Messungen schon den grossen Einfluss des Windes an. Die Unterschiede sind jedesmal um so bedeutender, je heftiger der Wind während des Regens war; doch bleiben sie auch bei ruhiger Luft noch immer merklich. Die Ablenkung der Tropfen von der lothrechten Richtung, die offenbar wegen des heftigern Windes in der grösseren Höhe auch bedeutender ist, kann natürlich das Phänomen nicht veranlassen, indem der Regenmesser immer die gleiche Anzahl Tropfen auffangen muss. Dagegen ist hierbei gewiss der Umstand von grosser Wichtigkeit, dass die Luft nicht mit aufgefangen wird, und indem der Luftstrom, in dessen Richtung der Regenmesser steht, diesem ausweicht, so reisst er eine Masse Wasser mit sich fort, und führt sie seitwärts vorbei. Diese Wirkung kann auch in dem Falle nicht ganz verschwinden, wenn der Wind aufhört, oder wenn die Bewegung der Luft für das Gefühl unmerklich wird, denn die feinen Wassertheilchen, die nicht sichtbar herabfallen, sondern noch schwebend sich langsam senken, werden wieder mit dem schwachen, noch bleibenden Luftstrome dem Regenmesser ausweichen, und selbst wenn der Luftstrom ganz aufhören sollte, so können sie nicht vollständig von dem Regenmesser gefasst werden; wogegen sie über dem Erdboden sich ansammeln, und hier ungestört niedersinken.

§. 3.

Beobachtete Regenmengen.

Was die Resultate der vorstehend beschriebenen Messungen betrifft, so ergiebt es sich schon aus dem Gesagten, dass die Regenmenge durch verschiedene locale Verhältnisse bedingt ist, und sie daher für grössere Landflächen sich nicht gleichbleiben kann. Ausserdem zeigen sich aber auch zwischen den an einem

*) Forbes, Abriss der Meteorologie, übersetzt von Mahlmann. Berlin 1836.

und demselben Orte angestellten Beobachtungen so grosse Differenzen, dass die in einem Jahre gefundene Regenmenge oft nur die Hälfte, und wohl gar nur den dritten Theil von der beträgt, die in einem andern Jahre ebendaselbst beobachtet wurde; wenigstens zeigen dieses allgemein die in unsern Gegenden angestellten Messungen. So wurden an einigen Orten des Preussischen Staates die folgenden Regenmengen beobachtet, welche hier in Zollen ausgedrückt sind.

im Jahr	Königsberg	Breslau	Münster	Düsseldorf	Coblenz.
1815 . .				23,5 . .	
1816				33,1	
1817				26,3	
1818	18,1			21,7	
1819	19,6		24,2	20,0	20,2
1820 . .	26,8 . .		34,2 . .	25,8 . .	20,1
1821	27,0		33,6	32,0	27,6
1822	24,8		19,8	15,7	14,8
1823			27,7	26,4	20,4
1824			32,5		25,7
1825 . .		12,3 . .	15,3 . .		16,2
1826		11,0	12,7		14,6
1827		16,1			22,6
1828		19,7			22,4
1829		32,2			28,5
1830 . .		21,0 . .			20,3
1831		23,2			16,3
1832					20,8
1833					19,5
1834					15,1
1835 . .					20,1
1836					22,6
1837					22,6
1838					18,6

Es ergiebt sich hieraus, dass die Beobachtungen eine längere Zeitperiode umfassen müssen, wenn man die mittlere jährliche

Regenmenge daraus mit einiger Sicherheit herleiten will, und eben so ergiebt es sich auch, dass wenn dieses genau genug bestimmt ist, man keineswegs darauf rechnen kann, sie in jedem einzelnen Jahre wieder zu erhalten. Die folgende Tabelle weist die aus mehrjährigen Beobachtungen hergeleiteten Mittelzahlen für verschiedene Orte des In- und Auslandes nach. Ich habe dieselben grösstentheils aus Kämtz „Lehrbuch der Meteorologie, Halle 1831," zum Theil aber auch aus Schübler's „Grundsätze der Meteorologie, Leipzig 1831," entlehnt, und sie durch einige andere Notizen vervollständigt. Sämmtliche Angaben sind in Zollen ausgedrückt, doch ist dieses theils Preussisches, theils Pariser, und theils Englisches Maass; eine Reduction konnte ich in so fern nicht vornehmen, als ich häufig dieses Maass nicht näher bezeichnet fand, jedenfalls kann man aber in dieser Zusammenstellung hierüber fortsehen, indem die betreffende Correction im Vergleich zu den noch bleibenden Abweichungen unbedeutend ist.

Beobachtungs-Ort	Regenmenge	Dauer der Beobachtungen.
Berlin	19,3 . . .	12 Jahre, 1728–1739
Königsberg . . .	23,3 . . .	5 „ 1818–1822
Breslau	23,9 . . .	10 „
Sagan (Schlesien) .	21,3 . . .	10 „
Wittenberg . . .	18,9 . . .	
Erfurt	12,6 . . .	7 „
Göttingen	24,9 . . .	4 „ 1783–1785 u. 1787
Cuxhafen	29,2 . . .	10 „
Salzuffeln bei Lippstadt	26,9 . . .	3 „
Münster	25,0 . . .	8 „ 1819–1826
Düsseldorf . . .	24,9 . . .	9 „ 1815–1823
Coblenz	20,5 . . .	20 „ 1819–1838
Trier	27,9 . . .	8 „
Mannheim	21,0 . . .	12 „ 1781–1792
Carlsruhe	25,5 . . .	35 „ (Maximum 1819 mit 33,2 Zoll. — Minimum 1834 mit 17,0 Zoll)
Stuttgard	23,8 . . .	10 „ 1807–1811 u. 1825–1829
Tübingen	23,9 . . .	10 „ 1819–1828
Würzburg	14,0 . . .	7 „ 1781–1783 u. 1785–1788
Ulm	25,1 . . .	6 „
Augsburg	36,2 . . .	14 „

Beobachtungs - Ort	Regenmenge	Dauer der Beobachtungen.
Tegernsee	43,9	8 Jahre
Regensburg	20,9	36 „
Prag	15,4	4 „
Wien	16,0	
Ofen	16,0	11 „ 1782–1792
Trient	33,4	2 „
Zürich	32,2	5 „
Bern	43,3	6 „
Lausanne	37,8	6 „
Genf	29,8	26 „
St. Bernhard	59,2	10 „
Turin	24,9	4 „
Mailand	35,5	54 „ 1763–1817
Mantua	28,7	7 „
Verona	34,6	9 „
Padua	34,7	40 „
Venedig	29,9	
Triest	32,0	
Bologna	29,1	4 „
Rom	29,3	20 „
Palermo	20,8	20 „ 1796–1815
Lissabon	25,4	8 „ 1784–1785 u. 1816–1821
Bordeaux	24,3	66 „ 1714–1770 u. 1776–1784
Toulouse	23,7	12 „
Montpellier	30,4	26 „
Marseille	20,6	19 „
Toulon	17,5	10 „
Nimes	23,7	17 „
Joyeuse	47,7	23 „
la Rochelle	24,2	17 „
Poitiers	22,2	10 „
Paris	20,8	63 „
Montmorency	21,5	15 „
Troyes	22,4	6 „
Mühlhausen	28,4	6 „
Strasburg	25,6	16 „
Metz	27,2	7 „
Cambray	17,0	8 „
Brüssel	17,9	5 „
Middelburg	25,4	4 „
Breda	24,6	5 „
Dortrecht	38,6	
Rotterdam	21,2	5 „

Beobachtungs-Ort	Regenmenge	Dauer der Beobachtungen.
Utrecht	23,1 . . .	
Haag	26,3 . . .	
Zwanenburg bei Amsterdam	24,4 . . .	44 Jahre
Franecker	28,7 . . .	13 „
Dover	44,1 . . .	4 „
London	23,4 . . .	16 „
Bristol	21,9 . . .	4 „
Liverpool	32,4 . . .	22 „
Manchester . . .	33,9 . . .	33 „
Lancaster	37,2 . . .	20 „
Kendal	50,4 . . .	31 „
Glasgow	20,0 . . .	18 „
Edinburg	23,3 . . .	27 „
Copenhagen . . .	17,3 . . .	17 „
Lund	18,1 . . .	21 „
Bergen	83,2 . . .	10 „
Upsala	16,7 . . .	16 „
Stockholm	19,2 . . .	8 „
Abo	24,1 . . .	12 „
Petersburg . . .	17,1 . . .	5 „
Bombay	73,5 . . .	11 „
Rio Janeiro . . .	55,6 . . .	2 „
Havannah	85,7 . . .	7 „
Charlestown . . .	55,0 . . .	15 „
Marietta am Ohio .	39,0 . . .	2 „
West-Chester bei Philadelphia . .	44,0 . . .	10 „

Die Ursachen von den grossen Differenzen, welche diese Tabelle nachweist, sind schon oben kurz angedeutet worden, für den vorliegenden Zweck möchte dieses genügen. *) Es darf jedoch nicht unerwähnt bleiben, dass auf den höchsten Gebirgen, namentlich oberhalb der Schneelinie, wahrscheinlich Niederschläge vorkommen, welche die hier angegebenen sämmtlich übertreffen, wenigstens lässt dieses theils die Reichhaltigkeit der aus den Gletschern hervorbrechenden Bäche vermuthen, so wie anderntheils die starke Ab-

*) Die näheren Erklärungen findet man theils in den oben citirten Werken von Kämtz und Schübler, theils auch in den „meteorologischen Untersuchungen von Dove. Berlin 1837.“ —

kühlung der Luft in der Nähe der grossen Eismassen einen besonders reichlichen Niederschlag auch wahrscheinlich macht. *)

Die nachgewiesenen Regenmengen sind aber keinesweges in dem ganzen Jahre gleichmässig vertheilt, vielmehr trifft der grösste Theil derselben, übereinstimmend mit der früher gegebenen Darstellung, in die Sommermonate. In der folgenden Tabelle ist für einige Orte die auf jeden Monat fallende Regenmenge in Theilen des ganzen jährlichen Niederschlages nachgewiesen.

Monat	Königsberg 5 Jahre	Berlin 12 Jahre	Breslau 7 Jahre	Coblenz 20 Jahre	Carlsruhe 23 Jahre	Paris 63 Jahre.
Januar	0,075	0,066	0,055	0,051	0,057	0,067
Februar	0,051	0,066	0,029	0,053	0,067	0,072
März	0,077	0,057	0,052	0,072	0,072	0,049
April	0,067	0,064	0,075	0,079	0,065	0,095
Mai	0,076	0,091	0,077	0,090	0,088	0,106
Juni	0,090	0,130	0,149	0,112	0,094	0,109
Juli	0,118	0,124	0,142	0,107	0,121	0,105
August	0,132	0,093	0,121	0,114	0,095	0,091
Septbr.	0,102	0,089	0,088	0,098	0,085	0,090
October	0,065	0,068	0,051	0,060	0,080	0,066
Novbr.	0,087	0,069	0,061	0,088	0,087	0,083
Decbr.	0,060	0,083	0,100	0,076	0,089	0,067
	1,000**	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Viel bedeutender stellt sich der Unterschied für die heissen Zonen heraus: so fällt in Havannah mehr als der vierte Theil des ganzen jährlichen Niederschlages während des Monats Juni, und nach den in Bombay angestellten vieljährigen Beobachtungen regnet es daselbst während sieben Monaten, nämlich vom November bis Mai, gar nicht, und die sehr grosse Regenmenge stürzt nur vom Juni bis September herab.

Für den Wasserbau ist endlich noch die Frage von grosser Wichtigkeit, welche Wassermenge während eines und weniger auf

*) Hagen, Beschreibung neuerer Wasser-Bauwerke. Königsberg 1826. S. 213.

einander folgenden Tage herabfällt. Diese Wassermenge ist für unser Klima jedenfalls viel unbedeutender, als in den wärmeren Gegenden, woselbst sie mitunter so gross wird, dass in einem Tage leicht eine Quantität niederfällt, die dem ganzen jährlichen Niederschlage unseres Klima's gleichkommt. So beobachtete man im Jahre 1820 (Februar) in Cayenne in 10 Stunden eine Regenmenge von 10¼ Zoll, und in 24 Tagen fielen 123 Zoll. Doch zeigen sich in Europa auch ähnliche Fälle; am 9. October 1827 betrug der Niederschlag zu Joyeuse (Dep. de l'Ardèche) in 22 Stunden 29 Zoll 3 Linien. Am 25. October 1822 fielen zu Genua 30 Zoll und selbst im südwestlichen Deutschlande schlugen am 28. und 29. October 1820 in 36 Stunden 5½ bis 7⅓ Zoll Regen nieder. Die in neuerer Zeit in Berlin angestellten Beobachtungen (sie werden durch die Staatszeitung bekannt gemacht), die wegen der darin vorkommenden Unterbrechungen sich zur Bestimmung des jährlichen und monatlichen Niederschlages nicht eignen, zeigen, dass fast in jedem Jahre an einzelnen Tagen bis 1 Zoll Regen, und zuweilen sogar bis 1,4 Zoll beobachtet ist. Die Königsberger Beobachtungen (mitgetheilt in den Beiträgen zur Kunde Preussens) geben zuweilen den täglichen Niederschlag auf mehr als 1½ und einmal (am 11. August 1818) sogar zu 1¾ Zoll an.

§. 4.

Quantität der Verdunstung.

Wenn die Beobachtungen des Niederschlages schon in mancher Beziehung unsicher waren, so ist dieses bei denen über die Verdunstung noch in viel höherem Grade der Fall. Jenachdem das Gefäss mit Wasser, worin man die Verdunstung beobachten will, der Sonne und dem Winde ausgesetzt, oder so gestellt wird, dass es beiden entzogen bleibt, so findet man so verschiedene Resultate, dass die ersteren oft das Drei- und Vierfache von den letzteren betragen. Dazu kommt noch der Unterschied, den die Höhe des Wasserstandes im Gefässe bedingt: denn es zeigt sich, dass die Verdunstung nicht nur von der Ausdehnung der Oberfläche, sondern auch von der Wassertiefe abhängt, und zwar wird sie grösser, wenn die Tiefe zunimmt. Endlich zeigt sich aber noch eine neue Schwierigkeit, wenn man die Resultate dieser Beobachtungen auf

die Bestimmung der Wassermasse anwenden will, welche sich in den Quellen und Flüssen ansammelt. Die Erdoberfläche, welche nämlich den Niederschlag aufgenommen hat, verdunstet nur so lange, als der mit der Luft in Berührung stehende Theil derselben noch feucht ist: nach erfolgter Austrocknung aber nur in dem Maasse, als die Feuchtigkeit sich von unten heraufzieht. Sonach ist die Verdunstung des Landes in höhern und trockenen Gegenden ohne Vergleich viel geringer, als das Atmidometer sie angiebt, welches beständig mit Wasser gefüllt erhalten wird.

Das Atmidometer, oder der Apparat, womit die Verdunstung gemessen wird, besteht wieder in einem offenen Kasten von bekannter Grundfläche, bei dem man durch Nachwiegen oder Nachmessen die Höhe der Wasserschicht ermittelt, welche täglich darin verdunstet. Beim Gebrauche desselben kommt es besonders darauf an, es so zu stellen, dass es der Sonne und dem Winde nicht zu stark ausgesetzt ist, sondern ungefähr nur in dem Maasse, wie durchschnittlich der Erdboden. Durch eine angebrachte Bedachung muss man aber Regen und Schnee davon abhalten.

Die Anzahl der Beobachtungen dieser Art ist sehr beschränkt: ich will einige derselben nach Kämtz hier anführen, und zwar zunächst solche, die unfern der See, oder doch an den Orten angestellt sind, welche zu den feuchten gehören.

Orte.	verdunstete Wassermengen.
la Rochelle	23,2 Zolle
London	23,8 -
Liverpool	35,7 -
Breda	23,2 -
Rotterdam	23,1 -

Es stimmt für diese Orte die Verdunstung sehr nahe mit dem Niederschlage überein, dagegen wird sie in den Binnenländern sehr viel grösser; sie beträgt

in Mannheim	73,0 Zolle
in Augsburg	60,0 -
in Bordeaux	59,1 -
in Marseille	85,8 -
in Poitiers	38,6 -
in Montmorency	35,7 -
in Troyes	29,8 -

Am grössten stellt sich die Verdunstung in den heissen Gegenden heraus, und namentlich da, wo die Luft immer von dem ihrer Erwärmung entsprechenden Sättigungspunkte entfernt bleibt, oder wo die Niederschläge sehr selten werden und ganz aufhören. So ist sie in Cumana zu 130 Zoll beobachtet, und in den afrikanischen Steppen beträgt sie wahrscheinlich gegen 300 Zolle.

Ueber die Vertheilung der Verdunstung auf die Jahreszeiten, welche zur Beurtheilung der Reichhaltigkeit der Quellen von grosser Wichtigkeit wäre, habe ich nur eine Zusammenstellung gefunden, und zwar nach vierjährigen Beobachtungen, die in Liverpool gemacht sind.*) Die mittlere Höhe des jährlichen Niederschlages betrug während dieser Zeit 37,5 Zoll, die Höhe der Verdunstung 36,78 Zoll, letztere vertheilte sich in folgender Art auf die verschiedenen Monate:

	monatliche	tägliche Verdunstung.
Januar	1,50 Zoll	0,048 Zoll
Februar	1,77 -	0,063 -
März	2,65 -	0,085 -
April	3,30 -	0,110 -
Mai	4,34 -	0,140 -
Juni	4,41 -	0,147 -
Juli	5,11 -	0,165 -
August	5,01 -	0,167 -
September	3,18 -	0,106 -
October	2,51 -	0,081 -
November	1,51 -	0,050 -
December	1,49 -	0,049 -

Dalton bemerkt dabei, dass die grösste Wassermenge, die er an dem heissesten und dürresten Tage hätte verdunsten sehen, etwas über 0,2 Zoll betragen hätte.

Um für unsere Gegenden einigen Anhalt zu gewinnen, habe ich die in Berlin angestellten Beobachtungen für das Jahr 1833 in dieser Beziehung näher untersucht. Ich habe gerade dieses Jahr gewählt, weil der Niederschlag in demselben ungefähr der oben angegebenen Mittelzahl entspricht, und dann auch, weil dieser

*) Gilbert's Annalen. Band 15, S. 264.

Jahrgang noch etwas vollständiger, als die andern war. *) Nach den mitgetheilten Angaben, wobei jedoch 23 Tage ausgelassen sind, beträgt der Niederschlag 17,7 Zoll, die Verdunstung im ganzen Jahr 26,0 Zoll. Von der letzten treffen

				Anzahl d. Beob. Tage.	mittlere tägl. Verdunst.
auf den	Januar	0,74	Zoll	31	0,024 Zoll
- -	Februar	0,82	-	28	0,029 -
- -	März	1,29	-	31	0,042 -
- -	April	2,40	-	30	0,080 -
- -	Mai	4,44	-	26	0,171 -
- -	Juni	5,32	-	29	0,184 -
- -	Juli	3,28	-	19	0,173 -
- -	August	2,97	-	29	0,102 -
- -	September	1,08	-	30	0,036 -
- -	October	2,09	-	30	0,070 -
- -	November	0,89	-	29	0,031 -
- -	December	0,70	-	30	0,023 -
		26,02	Zoll.		

Wenn es statthaft ist, aus diesem einzelnen, und noch dazu unvollständigen Jahrgange einen Schluss zu ziehen, so wäre für den vorliegenden Zweck die Folgerung wichtig, dass für die hiesige Gegend die Verdunstung in den Monaten Mai bis Juli am stärksten ist und sie dann durchschnittlich an jedem Tage etwa 2 Linien beträgt, dass sie aber, wenn die Regen am seltensten werden, schon viel unbedeutender geworden und sogar unter eine Linie gesunken ist.

Endlich muss hier noch eine von Dalton gewählte Beobachtungsart erwähnt werden, welche unmittelbar zeigen sollte, wie die auf den Erdboden herabfallende Wassermenge theils verdunstet, theils offen abfliesst und theils unterirdische Quellen bildet. **) Ein Gefäss von verzinntem Eisenblech, 3 Fuss hoch und 10 Zoll weit, wurde dicht über dem Boden und unter dem obern Rande mit Oeffnungen und Abflussröhren versehen. Um das Verstopfen der untern Oeffnung zu verhindern, wurde einige Zolle hoch Kies

*) Preussische Staatszeitung für 1833.

**) Gilbert's Annalen. Band 15, S. 266 ff.

geschüttet und darüber bis zur obern Oeffnung frische Erde gefüllt. Man grub dasselbe in der Nähe von Manchester so tief in den Boden ein, dass die Oberfläche der Erde im Gefässe so hoch als die des umgebenden Bodens lag, und leitete die beiden Abflussröhren nach andern Gefässen, deren Inhalt man immer bequem untersuchen konnte. Zunächst wurde reichlich Wasser zugegossen, um die vollständige Tränkung der Erde hervorzubringen; dieses Wasser floss durch beide Oeffnungen ab: alsdann blieb der Apparat nur demselben Einfluss der Atmosphäre, wie der umgebende Boden, ausgesetzt, und nach einigen Monaten fing man an, die Wassermengen zu bestimmen, welche nach und nach ausflossen, während ein darnebenstehendes Ombrometer die Regenmenge besonders angab. Diese Beobachtungen wurden während der drei Jahre 1796—1798 fortgesetzt, doch erlitten sie nach kurzer Zeit insofern eine Aenderung, als die Erde im Gefässe sich setzte und sonach durch die obere Oeffnung der Ausfluss ganz aufhörte. Nach einem Jahr hatte sich im Gefässe ein Rasen gebildet, welcher indessen auf die Verdunstung keinen Einfluss zu haben schien. Die erhaltenen Resultate waren durchschnittlich für die einzelnen Monate folgende:

	Höhe des ausfliessenden Regenwassers.	Höhe des Niederschlages in dem Ombrometer.	Differenz beider, oder Höhe der Verdunstung.
Januar	1,45	2,46	1,01 Zoll
Februar	1,27	1,80	0,53 -
März	0,28	0,90	0,62 -
April	0,23	1,72	1,49 -
Mai	1,49	4,18	2,69 -
Juni	0,30	2,48	2,18 -
Juli	0,06	4,15	4,09 -
August	0,17	3,55	3,38 -
September	0,32	3,28	2,96 -
October	0,23	2,90	2,67 -
November	0,88	2,94	2,06 -
December	1,72	3,20	1,48 -
Summa	8,40	33,56	25,16 Zoll.

Von der ganzen Regenmasse verdunsteten also ungefähr zwei Drittheile, während nur ein Drittheil abfloss, und zwar hörte

dieser Abfluss oder die Speisung der Quellen in dem Sommer und Herbste beinahe ganz auf. Eine Vergleichung mit der Verdunstung des Wassers in dem unmittelbar daneben aufgestellten Atmidometer zeigte aber, dass die Verdunstung des Erdreichs geringer geblieben ist, denn diese betrug nur 25 Zoll, während das Atmidometer sie um 5 Zoll grösser oder gleich 30 Zoll angab. Dieser Unterschied erklärt sich wohl am einfachsten dadurch, dass das Erdreich oft so trocken wurde, dass seine Oberfläche nicht die Wassermenge enthielt, welche die Luft aufzunehmen fähig war.

§. 5.

Cisternen.

Da das Regen- und Schneewasser sich in ähnlicher Art aus der Luft ausscheidet, wie das destillirte Wasser im Helm der Destillirblase; so hat es beinahe die Reinheit des letzteren und eignet sich sonach vollkommen zu den gewöhnlichen wirthschaftlichen Zwecken, und namentlich zur Zubereitung der Speisen und Getränke und zum Waschen. Aus diesem Grunde ist das Auffangen des Regenwassers in grösserer oder geringerer Ausdehnung ziemlich allgemein üblich. Wo andere reiche Quellen zu Gebote stehen, verwendet man indessen hierauf wenig Sorgfalt, und kaum wird irgend eine bauliche Einrichtung zu diesem Zwecke getroffen: wo dagegen der Boden entweder kein Wasser giebt und die Zuleitung von Quellen auch kostbar wird, oder wo andrerseits der sumpfige und vielleicht mit Seewasser durchzogene Grund alle Brunnen mit unbrauchbarem Wasser speisen würde, da erhält die Auffangung und Aufbewahrung des Regenwassers solche Wichtigkeit, dass man bedeutende Anlagen zu diesem Zwecke macht. Dieses sind die Cisternen, die man, wenn sie nur das Wasser der Dachrinnen aufnehmen, auch wohl Regensärge zu nennen pflegt. Sie bestehen aus wasserdichten überwölbten Bassins, die so tief im Boden liegen, dass weder der Frost, noch die stärkere Sommerwärme eindringen kann, und welche überdies mit den nöthigen Vorrichtungen zur zweckmässigen Hineinleitung und Entnehmung des Wassers, sowie zur Reinigung versehen sein müssen. Insofern die Speisung der Cisternen von der Quantität des Niederschlages abhängt, und diese wieder in den verschiedenen Jahres-

zeiten sehr verschieden ausfällt, während der Verbrauch des aufgesammelten Wassers ziemlich gleichmässig erfolgt, so müssen die Cisternen, wenn sie auch nur die jährlich wiederkehrende Ungleichmässigkeit des Niederschlages ausgleichen sollen, den Bedarf von 3 bis 4 Monaten fassen können, und es ergiebt sich hieraus sowohl die nöthige Grösse derselben, als auch die erforderliche Ausdehnung der Oberfläche, die zum Auffangen des Wassers vorbereitet sein muss. Es ist dabei jedoch nicht zu übersehen, dass die aufgefangene Wassermenge etwas geringer ausfallen wird, als die wirklich niedergeschlagene, und dieses namentlich, wenn man nicht nur Dachflächen, sondern auch gepflasterte Hofräume benutzt, weil dann eine merkliche Quantität sich schon durch die Fugen des Pflasters in den Boden zieht.

Nichts desto weniger ist die auf solche Art gewonnene Wassermenge noch immer sehr bedeutend, und selbst für die volkreichsten Städte würde gewiss in unserm Klima der Bedarf für die gewöhnlichen häuslichen Zwecke durch Cisternen vollständig gesichert werden können: rechnet man z. B., dass die aufgefangene Wassermenge nur einem Niederschlage von 12 Zoll entspricht, oder dass jährlich von jedem Quadratfuss Oberfläche nur ein Cubikfuss Wasser in die Cisterne fliesst, und dass jeder Einwohner täglich $\frac{1}{2}$ Cubikfuss Wasser consumirt, was nach den späteren Mittheilungen für die häuslichen Zwecke genügt, so würde eine Oberfläche von $1\frac{1}{4}$ Quadratruthe jedem Einwohner das nöthige Wasserquantum liefern, und mit Benutzung der Hofräume und der Strassen möchte sich auch für die stärkste Bevölkerung durchschnittlich diese Ausdehnung herausstellen. Nimmt man aber, wie Leslie es gethan hat, den nothwendigen Bedarf eines Individuums nur zu $\frac{1}{5}$ Cubikfuss englisches Maass oder sehr nahe 5 preussische Quart an, so kommt man schon zu dem Resultate, dass die Dachflächen in jeder Stadt für sämmtliche Einwohner das nöthige Wasser liefern können.

Die vollkommenste Wasserdichtigkeit ist bei einer Cisterne das erste Erforderniss, und dadurch wird wieder die möglichste Solidität des Baues bedingt, denn wenn einzelne Theile sich setzen sollten, so würden die entstehenden Trennungsfugen unfehlbar dem Wasser den Durchfluss gestatten. Aus diesem Grunde

pflegt man dem Gewölbe, welches die Decke der Cisterne bildet, gemeinhin keine weite Spannung zu geben, sondern diese im Maximum auf 10 bis 12 Fuss zu beschränken, und dafür lieber, wenn eine grössere Breite erforderlich ist, mehrere überwölbte Räume, die mit sich in Verbindung stehen, neben einander anzulegen, wobei die Zwischenmauern das gemeinschaftliche Widerlager bilden. Dieses Mittel stellt sich bei Cisternen von einem grossen Inhalt auch gemeinhin als das wohlfeilste heraus, denn die Vermehrung der Länge, welche überdies oft durch die Localität erschwert ist, würde eine gleiche Verlängerung beider Widerlagsmauern erfordern, und die Vergrösserung der Tiefe ist gemeinhin wegen der Schwierigkeit der Fundirung nicht zulässig.

Fig. 4 und Fig. 5 stellen eine Cisterne von mittlerer Grösse dar, welche durch die Rinnen eines gepflasterten Hofes gespeist wird. *A* ist der Speisebrunnen (*Citerneau*), in welchem das Wasser sich zunächst ansammelt; derselbe ist oben mit einem Gitter verschlossen, um das Hineinfallen grösserer Körper zu verhindern; er dient dazu, um Sand und andere schwere Stoffe, welche das Wasser mit sich reisst, aufzufangen, weshalb er nicht am Boden, sondern 1 bis 2 Fuss darüber mit der Cisterne in Verbindung steht, und sonach das Wasser immer in seiner Oberfläche abfliessen lässt. Damit er von Zeit zu Zeit gereinigt werden kann, muss er wenigstens 3 Fuss weit sein. Bei kleineren Cisternen, welche nur das Regenwasser der Dächer aufzunehmen bestimmt sind, pflegt man statt dieses Speisebrunnens ein kleines Bassin, der Seiger genannt, unter dem Abfallrohre anzubringen, welches einige Cubikfuss Wasser fasst, und von dessen oberm Rande die Zuleitungsröhre nach der Cisterne abgeht. Jedenfalls muss das Wasser, bevor es in die Cisterne tritt, noch ein zweites enges Gitter oder Drahtnetz passiren, damit auch kleine schwimmende Körper zurückgehalten werden. Das Saugerohr *B*, durch welches das Wasser aus der Cisterne gehoben wird, muss möglichst weit von der Einflussöffnung entfernt sein, damit die feinern erdigen Stoffe nicht leicht zu demselben gelangen: um aber durch die Pumpe alles Wasser ausheben und nöthigenfalls die Cisterne ganz trocken legen zu können, giebt man dem Boden eine sehr schwache Neigung von $\frac{1}{100}$ bis $\frac{1}{200}$ und bringt längs der Stirnmauer, welche die niedrigste Seite des Bodens begrenzt, einen

kleinen flachen Graben *D* an, in welchem der letzte Rest des Wassers sich ansammeln kann und der unter dem Saugerohre noch immer einigen Wasserstand behält, damit das Wasser nicht unmittelbar über dem Boden entnommen werden darf.

Um von Zeit zu Zeit die Reinigung der Cisterne vornehmen zu können, wird noch eine 3 Fuss weite Einsteigeöffnung *C* angebracht, die am passendsten ihre Stelle neben dem Saugerohre der Pumpe hat, wodurch theils etwanige Reparaturen an derselben, und theils die Reinigung des Bodens und die Herausschaffung des zusammengekehrten Niederschlages erleichtert wird. Diese Oeffnung ist mit einem Deckel geschlossen. Endlich pflegt man auch dafür zu sorgen, dass die Cisterne nicht ganz bis zum Scheitel des Gewölbes sich anfüllen, und noch weniger das darin enthaltene Wasser durch die Ueberfüllung des Speisebrunnens einem starken Drucke ausgesetzt werden kann, wodurch möglicher Weise das Gewölbe gesprengt würde. Zu diesem Zwecke geht ein Ableitungsrohr *E* entweder von der Cisterne selbst, oder wohl noch besser von dem Speisebrunnen aus nach einer tiefern Stelle des Hofes, welche mit der beabsichtigten höchsten Füllung in gleicher Höhe liegt.

Ueber die Construction der Cisterne ist wenig zu bemerken: der einzige Umstand, der dabei erwähnt werden muss, betrifft die Sicherung des Mauerwerks gegen das Durchdringen des Wassers: dieses wird vorzugsweise durch die Anwendung von gutem hydraulischen Mörtel und von recht hart gebrannten und festen Ziegeln erreicht. Ausserdem wird der Boden zu diesem Zwecke gewöhnlich mit 3 Schichten flach gelegten Ziegeln bedeckt, und zwar wenn der Baugrund ein fester Kies ist, kann man, wie die Figur es andeutet, die untere dieser Schichten unmittelbar auf den sorgfältig geebneten und dossirten Boden legen: die Fugen derselben werden dann mit einem dünnflüssigen hydraulischen Mörtel ausgegossen, die zweite und dritte Schicht, welche gegen die erste und unter sich einen guten Verband bilden müssen, legt man dagegen in ein Mörtelbette, und sorgt dafür, dass auch die Stossfugen nicht offen bleiben. — Wenn dagegen der Baugrund einiges Setzen befürchten lässt, so muss der Boden der Cisterne eine grössere Stärke erhalten. Bei der Cisterne zu Charlemont, die

Bélidor *) beschreibt, bestand derselbe aus einem drei Fuss starken Mauerwerk, worüber jene drei Ziegelschichten noch gelegt wurden.

Nachdem das gesammte Mauerwerk der Cisterne mehrere Monate gestanden hat und es bei Anwendung des hydraulischen Mörtels theils gehörig ausgetrocknet ist, und theils sich vollständig gesetzt hat, so wird die ganze innere Oberfläche der Cisterne und des Brunnens, am Boden, an den Wänden und der gewölbten Decke, und ebenso auch von aussen die flache Abdachung über dem Gewölbe mit einer Lage von vorzüglich sorgfältig zubereitetem und schnell bindendem hydraulischen Mörtel 1 bis 1½ Zoll hoch überzogen. Damit dieser Ueberzug gut haftet, müssen vorher die sämmtlichen Fugen mit einem eisernen Haken etwa einen Zoll tief geöffnet und das Mauerwerk stark benetzt werden. Der Mörtel wird in kleinen Massen angetragen und mit einer schmalen flach convexen Kelle aufgetragen und fest eingestrichen. Zur Ausfüllung der Unebenheiten, sowie der feinen Risse, welche sich nach einigen Tagen zeigen, wird eine zweite jedoch viel dünnere Lage desselben Mörtels aufgebracht und mit der schmalen Kelle gleich gerieben, bis sie erhärtet ist. Dieses Verfahren muss nun von Tage zu Tage wiederholt werden, und zwar so lange, bis keine Risse mehr zum Vorschein kommen. Die Quantität des aufgetragenen Mörtels muss aber, wie die Risse feiner werden, auch immer abnehmen, so dass der dünne Mörtel zuletzt nur mit einem Pinsel aufgestrichen wird, doch wird das Einreiben auch dann noch fortgesetzt.

Bei Anfertigung des Mörtelüberzuges über der äussern Abdachung ist das Verfahren genau dasselbe, doch muss man hier durch Ueberdeckung mit Stroh das zu schnelle Austrocknen verhindern und an sehr heissen Tagen die Arbeit ganz einstellen. Endlich ist hierbei noch zu erwähnen, dass die Abdachung später gewöhnlich mit Kies beschüttet wird, um einem Ansammeln des Wassers darüber vorzubeugen. Durch das wiederholte Auftragen feiner Mörtelmassen, und durch das fortgesetzte Einreiben derselben, erhält die Cisterne eine so feste und wasserdichte Oberfläche, dass ein Durchsickern von der einen oder der andern

*) *Science des Ingénieurs.* Buch IV. Cap. 12.

Seite ganz unmöglich wird, und sonach das aufgefangene Wasser weder verschwindet, noch durch Zutreten von andern Quellen verdorben wird, und in demselben Maasse gewinnt auch die Sicherheit der Mauern, welche eben dadurch der Einwirkung des Wassers entzogen werden. Wo jedoch der Boden sehr sumpfig ist, da pflegt man in der Baugrube zunächst eine starke Thonschicht auszubreiten, welche die Cisterne trägt, so wie auch eine gehörig eingestampfte Thonwand um die Mauer herum zu führen. Man erreicht dadurch den Vortheil, dass einerseits während des Baues der Zudrang des Wassers gemässigt und sodann auch die Besorgniss entfernt wird, dass später das Grundwasser eindringen und das Wasser der Cisterne verunreinigen möchte.

Als eine besondere Art von Cisternen verdienen noch die öffentlichen und Privatbrunnen in Venedig erwähnt zu werden. Der niedrige, vom Seewasser ganz durchzogene Boden giebt hier kein brauchbares Wasser, und die weite Entfernung von nahe einer Meile vom festen Lande erlaubt eben so wenig eine Wasserleitung von dorther einzurichten. Der Bedarf wird also zum Theil in kleinen Fahrzeugen, die man in der Brenta füllt, beigeschafft, doch sind diese keineswegs so zweckmässig eingerichtet, wie jene, welche von der Vechte aus das Wasser nach Amsterdam bringen; bei den letzten ist nämlich der Wasserraum vollständig abgeschlossen und verdeckt, und er wird durch Klappen im Boden gefüllt, während mehrere Pumpen dazu dienen, das Wasser bequem und ohne Verunreinigung herauszuheben. In Venedig ist jedoch die durch Fahrzeuge herbeigeführte Wassermasse nur unbedeutend gegen die, welche durch Auffangen des Regenwassers gesammelt wird, und hierzu dienen eben die erwähnten Brunnen: dieselben werden aber nicht nur durch den auf die Dächer niederschlagenden Regen gespeist, sondern auch durch das Wasser von den Strassen und sogar durch Spühligt (welches gewöhnlich in die Rinnen neben den Brunnen ausgegossen wird); sie sind daher mit einer Vorrichtung zum Filtriren versehen, und dieser Umstand unterscheidet sie eben von den früher beschriebenen Cisternen. Es muss aber hier noch erinnert werden, dass das Sammelwasser von den Strassen in Venedig nicht in der Art verunreinigt ist, wie in andern Städten, da hier weder Pferde noch anderes Vieh vorkommt. Die Einrichtung dieser Brunnen

zeigt Fig. 6 im Durchschnitte. Man hebt die Baugrube so tief aus, wie dieses wegen des Wasserzudranges möglich ist, und mindestens bis zu den fester gelagerten und bereits stark comprimirten Erdschichten, die man in einer Tiefe von 10 Fuss vorfindet. Die Weite ist gleichfalls sehr verschieden, je nachdem man grössere oder kleinere Wassermengen darin auffangen will. Der Boden wird mit einer etwa 1 Fuss hohen Lage festen Thones sorgfältig ausgestampft und darüber ein wasserdichter Boden von gebrannten Steinen ausgeführt, der zugleich das Fundament der darüber aufzuführenden Mauern bildet. Die äussere dieser Mauern, welche entweder einen kreisförmigen, oder einen quadratischen Raum einschliesst, und die im ersten Falle entweder senkrecht steht, oder nach aussen zu überhängt, um den cubischen Inhalt des Brunnens zu vergrössern, muss in allen Theilen wasserdicht sein. Zu diesem Zwecke wird sie gleich bei dem Aufführen sorgfältig mit Klai hinterstampft. Sie erhebt sich so weit, dass die Deckplatten einen Theil des Strassenpflasters bilden. Der jederzeit cylindrische innere Brunnenkessel ist etwa 2 Fuss hoch aus roh bearbeiteten Bruchsteinen mit offenen Lagerfugen erbaut, damit das Waser hier ohne Schwierigkeit durchdringen kann: weiterhin ist das Mauerwerk aber wieder wasserdicht und aus gebrannten Steinen ausgeführt, und es erhebt sich bis zur Höhe des Strassenpflasters und trägt als Einfassung gewöhnlich ein Corinthisches Capitäl aus weissem Marmor. Der Raum zwischen beiden Mauern wird nun mit reinem Flusssande bis etwa 5 Fuss unter dem Pflaster angefüllt, und nachdem derselbe mit reinem Wasser angegossen und angestampft ist, so dass man ein merkliches Setzen nicht mehr befürchten darf, so legt man als Boden und Fundament für einen kleinen Tunnel möglichst nah an der äussern Mauer eine Lage Steinplatten mit offenen Stossfugen, und hierüber wird aus gebrannten Steinen der zwei Fuss weite und drei Fuss hohe Tunnel ausgeführt, von dem zwei oder vier aufgemauerte Röhren nach eben so viel durchlochten Steinen des Strassenpflasters hinaufführen. Der übrigbleibende Raum wird wieder mit reinem Sande ausgefüllt und darauf das Pflaster gelegt nebst den zugehörigen Rinnen, welche das Wasser zu den erwähnten durchlochten Steinen führen. Die Wirksamkeit des Brunnens ist nun diese, dass das Wasser sich zunächst in dem

Tunnel ansammelt und von hier langsam durch den Sand in den innern Brunnenkessel dringt. Bei einigen dieser Brunnen soll man auch den innern Kessel, soweit derselbe die offenen Fugen hat, mit Kohlen umschütten, um dadurch das Wasser noch vollständiger zu reinigen.

Diese Brunnen versiegen niemals ganz, indem der durchnässte Sand auch während der grössten Dürre fortwährend noch einiges Wasser ausscheidet, doch ist die Wassermenge zuweilen so geringe, dass morgens in sehr kurzer Zeit der ganze Vorrath, der sich während 24 Stunden angesammelt hatte, ausgeleert ist, und der Brunnen dann während des ganzen Tages geschlossen bleiben muss. — Das ausgehobene Wasser ist sehr klar und gewöhnlich von reinem Geschmacke, so dass es zu allen häuslichen Zwecken benutzt wird: einen grossen Uebelstand verursachen aber die selten wiederkehrenden sehr hohen Fluthen des Adriatischen Meeres, welche, indem sie die Strassen unter Wasser setzen, auch in die Brunnen treten und den Sand mit Salztheilchen anfüllen. Es bleibt dann nichts Anderes übrig, als den verdorbenen Sand und zugleich den ganzen Tunnel herauszuheben, und nachdem frischer Sand eingeschüttet worden, letztern neu aufzuführen. *)

Die Sandschüttung, durch welche sich der Venetianische Brunnen hauptsächlich von der gewöhnlichen Cisterne unterscheidet, gewährt nicht nur den Vortheil, dass sie das Wasser filtrirt, sondern sie hält dieses auch zurück, so dass es nur nach und nach in das eigentliche Sammelbassin oder den innern Brunnenkessel gelangen kann. Der letzte Umstand ist nicht minder wichtig, als der erste, denn während das Wasser sich in den Zwischenräumen des Sandes befindet, so ist es bei dessen geschützter Lage vor jeder Verunreinigung von aussen, sowie auch vor dem Entstehen eines organischen Lebens im Innern gesichert, und da es nur in dem Maasse in den Brunnenkessel fliesst, wie letzterer ausgeschöpft wird, so bleibt es nicht so lange darin, dass der Zutritt der Luft es

*) Andeutungen über diese Brunnen finden sich in manchen hydrotechnischen Schriften. Die vorstehende Beschreibung bezieht sich grossentheils auf die Nachrichten, die ich in Venedig selbst eingezogen habe.

daselbst verderben, oder dass Pflanzen und Thiere darin leicht vegetiren könnten. Es ist also dieser Brunnen gewissermaassen als fliessender Quell zu betrachten, der, ähnlich den natürlichen Quellen, immer frisches Wasser ausgiesst.

Man hat auch bei andern Cisternen die Vorrichtung angebracht, dass das eintretende Wasser durch eine Sandschüttung geführt wird, um sich zu reinigen; doch ist die Quantität des Sandes alsdann immer so geringe, dass sie nur wenig Wasser zurückhält und der grösste Theil desselben sich schon lange vor dem Gebrauche in dem Reservoir ansammelt. Dieses ist z. B. in der ausgedehnten Cisterne der Fall, die vor wenig Jahren in Livorno gebaut ist: ein grosses Bassin von etwa 21 Ruthen Länge und 18 Ruthen Breite, dessen gewölbte Decke von zwanzig Mittelpfeilern getragen wird, nimmt das gereinigte Wasser auf, während zwei mit Sand gefüllte Räume zur Seite, deren jedes etwa nur den vierten Theil des Flächeninhaltes vom Bassin umfasst, als Filter dienen.*) Es scheint indessen, dass diese Cisterne nicht allein durch Regen, sondern zum Theil auch durch Quellen gespeist wird, und sie bildet deshalb den Uebergang zu denjenigen Sammelbassins, die bei Wasserleitungen vorkommen und wovon später die Rede sein wird.

*) Förster's Allgemeine Bauzeitung. 1838. S. 165.

Zweiter Abschnitt.

Quellen und Brunnen.

Zweiter Abschnitt.

Quellen und Brunnen.

§. 6.

Wassermenge der Quellen.

Aus der Vergleichung der jährlichen Regenmenge mit der jährlichen Verdunstung ergiebt es sich, dass selbst für unser Klima die letztere grösser ist, als die erstere; wenn daher der atmosphärische Niederschlag in allen einzelnen Theilen unbeweglich an der Stelle der Erdoberfläche aufgehalten werden könnte, wo er niedergefallen ist, oder mit andern Worten, wenn er auf eine horizontale und wasserdichte Fläche fiele, so würde keineswegs daselbst eine stets zunehmende Wassermenge sich ansammeln, sondern vielmehr würde im Verlaufe eines Jahres diese Fläche zuweilen ganz trocken werden, ohne dass auch nur ein Tropfen sichtbar abgeleitet zu werden brauchte. Auf der Erdoberfläche finden indessen diese Bedingungen nicht statt: der Boden ist im Allgemeinen uneben und gestattet dem Wasser den Durchfluss, oder saugt selbst das Wasser ein. Ein Theil des niederschlagenden Wassers benetzt und durchzieht sogleich den Erdboden, mit dem es in Berührung kommt, und ein anderer Theil, der auf der Oberfläche bleibt, fliesst nach den Vertiefungen herab und sammelt sich hier entweder an, oder strömt in den Bach- und Flussbetten nach dem Oceane. In beiden Fällen wird aber die Wirksamkeit der Verdunstung beeinträchtigt, denn das Wasser, welches sich in den Boden eingesogen hat, ist zunächst der Berührung der Luft entzogen, und wenn es bei der nach und nach erfolgenden Austrocknung des Bodens auch wieder mit der Luft in Berührung kommt, so kann es doch auch geschehen, dass es durch unterirdische Gänge sich schon früher nach einer tiefern Gegend hinzieht, und sonach wird diejenige Stelle des Erdbodens, wo das Wasser niedergefallen ist, weniger verdunsten, als sie aufgefangen

hat. Dasselbe geschieht aber auch gewiss in dem Falle, wenn das Wasser längs dem Boden nach einer grössern Tiefe abfliesst und sich hier ansammelt. Auf solche Art entsteht also eine sehr ungleichmässige Verdunstung: von den höhern Stellen der Erdoberfläche zieht sich das Wasser fort, bevor es verdunstet ist, und die Verdunstung wird also hier bald unterbrochen, weil kein Wasser mehr vorhanden ist. In den tiefern Gegenden sammelt sich aber so viel Wasser an, dass trotz der ununterbrochen fortgehenden Verdunstung doch die Berührungsfläche zwischen Luft und Wasser zu klein ist, um letzteres vollständig verschwinden zu lassen; dasselbe vermehrt sich also hier fortdauernd, und nachdem es die Vertiefungen angefüllt hat, läuft es an der niedrigsten Stelle des umgebenden Randes über, und hierdurch werden Bäche und Flüsse und Ströme gespeist. Jenachdem der Boden mehr oder weniger abhängig ist, wird also auch die Wassermenge, welche den Bach- und Flussbetten zugeführt wird, verschieden ausfallen, und zum Theil äussert hierauf auch die sonstige Beschaffenheit des Bodens einen merklichen Einfluss.

Die Erfahrung bestätigt die letzte Folgerung vollständig; es bleibt aber noch zu untersuchen, ob die Wassermenge, welche die Flüsse und Bäche abführen, wirklich bedeutend kleiner ist, als die auf dem ganzen zugehörigen Flussgebiete niedergefallene Regenmenge, wie dieses der Fall sein müsste, wenn die obige Erklärung die richtige wäre, oder ob im Gegentheil die Flüsse viel grössere Wassermassen abführen und sonach ihre Speisung anderen Quellen zugeschrieben werden muss.

Das Letzte ist oft genug behauptet worden, und wenn diese Ansicht auch zunächst von Physikern ausgegangen ist, so scheint es angemessen, hier das Räsonnement eines Mannes anzuführen, der besonders durch seine Schriften zu der Ausbildung des Strombaues in Deutschland wesentlich beigetragen hat. Silberschlag sagt im ersten Bande seiner Hydrotechnik §. 33: „dass auch die „ergiebigste Hypothese für die Regenmenge (nach ihm 33 Zoll) „die Reichhaltigkeit der Quellen lange nicht erkläre, wenn man „das abzieht, was das Erdreich auf 2 Fuss tief, denn so tief „dringet der Regen ein, wieder verschlinget und nicht anders „als durch Ausdünstung wieder in die Luft schickt.“ Diese in Abzug gestellte Wassermasse scheint mit der ganzen Regenmenge

ziemlich übereinzustimmen, es kann wenigstens nicht viel von der letztern übrig bleiben, wenn durch dieselbe, so oft sie niederfällt, zunächst bis auf 2 Fuss Tiefe der Boden durchnässt werden soll. Silberschlag wendet sogar dieses Räsonnement auf die Ilse an, die ihre Quellen aus der Granit-Formation des Harzes bezieht, wo augenscheinlich von einem zwei Fuss tiefen Eindringen des Wassers gar nicht die Rede sein kann. Die ganz willkührlich eingeführte und durchaus unbegründete Hypothese bezieht sich also darauf, dass jedes Wassertheilchen an der Stelle bleibt, wo es niedergeschlagen ist und der Erdboden es zwar zunächst einzieht, es aber dann wieder an derselben Stelle heraufsteigen lässt, so dass ein Herabfliessen von höhern Gegenden und ein Ansammeln in tiefern gar nicht erfolgen kann. Im Wesentlichen stimmt der Fehler, der hier begangen ist, ziemlich genau mit demjenigen überein, worin man auch später gewöhnlich gefallen ist, indem man annahm, dass jeder Theil der Erdoberfläche wirklich so viel Wasser verdunstet, als eine gleich grosse Wasseroberfläche daselbst verdunsten würde: dieses kann jedoch nicht geschehen, denn die Verdunstung muss aufhören, sobald der Boden trocken ist.

Silberschlag hat, indem er die einfachste und natürlichste Erklärung über die Entstehung der Quellen bestritt, dennoch weder bei der Ilse, noch bei andern Flüssen den Vergleich zwischen der Reichhaltigkeit derselben und dem atmosphärischen Niederschlage in ihren Gebieten wirklich angestellt; und eben so wenig ist dieses von Andern geschehen, die gleicher Meinung waren. Diese Ansicht hat aber in der That auch nur so lange Bestand gehabt, als man ohne Messung und Rechnung nur einem dunkeln Gefühle folgte, wonach die Wassermasse, welche ein Fluss abführte, ganz unermesslich schien. Genauere Untersuchungen gaben indessen ganz andere Resultate: schon Mariotte meinte, dass die Seine nur den sechsten Theil der Wassermenge dem Meere zuführt, die in ihrem Stromgebiete als Regen oder Schnee niederfällt. Doch verdient diese Schätzung noch wenig Glauben und ich will daher einige andere Erfahrungen anführen. Dalton stellte sich die Aufgabe, für die sämmtlichen Ströme und Flüsse von England und Wales diesen Vergleich durchzuführen; wie sicher seine Messungen der Regenmenge indessen auch sein mögen, so bleiben die Schätzungen der abgeführten Wassermengen

doch höchst zweifelhaft, indem für die Themse nur mittlere Tiefen und mittlere Geschwindigkeiten arbitrirt sind und die andern Ströme sogar nur mit der Themse in Parallele gestellt werden. Das Resultat ist, dass eine Wassermenge, welche der Höhe von 13 Zoll Englisch (oder 12 Zoll 7 Linien Preussisch) entspricht, durch die Ströme dem Meere zugeführt wird.*) Für die Seine hat Arago **) eine Berechnung mitgetheilt, die jedenfalls grösseres Vertrauen verdient. An der Brücke unterhalb der Tuilerien wurden bei mittlerem Wasserstande 255 Cub. Met., oder 8248 Pr. Cub. Fuss in der Secunde abgeführt, dieses giebt also während des Jahres 8042000000 Cub. Meter, oder 260120 Millionen Pr. Cub. Fuss, während der Flächenraum, von dem das Wasser hier abgeführt wird, eine Ausdehnung von 4327000 Hectaren oder 664,2 Pr. □Meilen hat. Die Höhe der durch die Seine abgeführten Wassermenge beträgt also 7 Zoll 1 Linie Preussisch, oder sie kommt ungefähr dem dritten Theile des Niederschlages gleich.

Ich habe es versucht, noch für einige Preussische Ströme dieses Verhältniss zu ermitteln, und wenn die Resultate, zu denen ich gekommen bin, auch nicht den Grad von Sicherheit haben, den man bei allen Messungen gern zu erreichen wünscht, so werden sie gewiss den eben mitgetheilten nicht an Genauigkeit nachstehen, ich will wenigstens den Leser selbst in den Stand setzen, hierüber zu urtheilen. Welche Ausdehnung das Stromgebiet hat, worauf das Wasser sich sammelt, das an einer bestimmten Stelle des Flusses vorbeigeführt wird, lässt sich auf jeder guten Charte genau genug nachmessen; und wie gross die Regenmenge hier ist, kann man aus der oben angeführten möglichst vollständig zusammengetragenen Tabelle, wenn auch nicht sehr sicher, doch wenigstens annähernd mit Leichtigkeit entnehmen. Nun bleibt aber die wichtige Frage, welche Wassermenge der Strom durchschnittlich abführt. Eine genaue Messung ist selbst bei kleinem Wasser und schwacher Strömung sehr zeitraubend und umständlich, wie dieses später auseinandergesetzt werden soll, bei höhern Wasserständen ist sie aber in den meisten Fällen beinahe un-

*) Gilbert's Annalen, Band 15, S. 249 ff.
**) *Annuaire pour l'an* 1834. S. 197 ff.

möglich; es ist mir auch nicht bekannt, dass man auf grossen Strömen zur Zeit hoher Anschwellungen jemals eine vollständige Messung angestellt hätte, höchstens misst man an der Oberfläche, und zwar im Stromstriche, die Geschwindigkeit und folgert hieraus, nach sehr unsichern Schlussfolgen, die mittlere Geschwindigkeit im Profile. Eine Zusammenstellung aller verschiedenen Wassermengen, die während des ganzen Jahres abgeführt werden, woraus man die mittlere finden könnte, lässt sich sonach nicht machen, und man muss zunächst schon voraussetzen, dass beim mittlern Wasserstande der Strom auch die mittlere Wassermenge abführt. *) Der mittlere Wasserstand ist überall, wo Pegelbeobachtungen regelmässig angestellt werden, leicht zu finden, und ich habe in den folgenden Rechnungen denselben allein aus dem Jahre 1833 hergeleitet, da es sich zeigte, dass die mittlere Höhe, sowohl der Wasserstände als der atmospärischen Niederschläge, in diesem Jahre ziemlich nahe gleich kommt der mittlern Höhe von grössern Beobachtungsreihen, die mehrere Decennien umfassen. Hiernach ergiebt es sich also, für welche Wasserstände man die zugehörige Wassermenge suchen muss; es ist indessen nicht zu erwarten, dass die wenigen, meist zu anderem Zwecke angestellten Messungen der Wassermenge auf diesen Wasserstand treffen sollten, und in den nachfolgenden Beobachtungen ist dieses in der That auch niemals der Fall. Man muss daher noch eine Methode haben, die Wassermenge auf andere etwas abweichende Wasserstände zu reduciren. Dieses lässt sich ohne Schwierigkeit nach den Interpolations-Methoden machen, wenn bei verschiedenen, theils niedrigeren und theils höheren Wasserständen, directe und vollständige Messungen angestellt sind; doch war dieses nur bei der Weser der Fall, für alle übrigen Ströme konnte ich nur einzelne Messungen zum Grunde legen.

Benutzt man das bekannte Gesetz über die gleichförmige Bewegung des Wassers in Flussbetten und nimmt man an, dass

*) Insofern bei höheren Wasserständen auch eine grössere Geschwindigkeit einzutreten pflegt, scheint diese Voraussetzung nicht richtig zu sein; die höchsten Wasserstände sind indessen oft eine Folge von Eisstopfungen, und überdies lassen manche Gründe vermuthen, dass der mittlere Wasserstand gewöhnlich etwas zu hoch berechnet wird.

bei einiger Aenderung des Wasserstandes keine Verbreitung des Flusses und keine Aenderung seines Gefälles eintritt, so erhält man die reducirte Wassermenge, oder

$$M' = \left(\frac{h+a}{h}\right)^{\frac{3}{2}} M$$

wo M die beobachtete Wassermenge für die mittlere Tiefe h, und $h+a$ die mittlere Tiefe beim mittleren Wasserstande bedeutet. Eine Vergleichung der hiernach berechneten Resultate mit den an der Weser wirklich beobachteten zeigte, dass die Abweichungen nicht gerade sehr bedeutend und überdies ziemlich unregelmässig sind, woher man wohl mit einigem Vertrauen sich dieses Ausdrucks bedienen kann.

Die folgende Tabelle weist die Resultate der sieben Messungen nach, die allein vorlagen; ich bemerke noch, dass in der zweiten Columne die Ausdehnung des Flussgebietes nur in sofern angegeben ist, als die Zuflüsse aus demselben den Strom schon oberhalb des Beobachtungsortes treffen. Die letzte Spalte zeigt aber an, wieviel Zolle hoch das ganze Flussgebiet von demjenigen Theile des jährlichen Niederschlages bedeckt wird, welchen der Fluss abführt.

	Ausdehnung des Flussgebietes Quadrat-M.	Wassermenge beim mittleren Wasserstande Cubik-F.	Mittlere Wassermenge *pro* Quadratmeile Cubik-F.	Höhe der abgeführten Wassermenge. Zolle.
1) Der Rhein bei Emmerich	2800	76000	27,2	17,8
2) Der Rhein bei Coblenz, oberhalb der Mosel-Mündung	2000	43000	21,5	14,1
3) Die Ems bei Rheine .	65	600	9,3	6,1
4) Die Weser b. Schlüsselburg	370	7100	19,2	12,6
5) Die Weichsel b. Schwetz	3400	34000	10,0	6,6
6) Die Weichsel oberhalb der Montauer Spitze	3500	24000	6,9	4,5
7) Der Pissek b. Johannisburg	35	330	9,4	6,2

Die letzte Columne zeigt, dass in allen Fällen die abgeführte Wassermenge bedeutend kleiner, als diejenige ist, welche in dem betreffenden Flussgebiete durch die Ombrometer beobachtet wurde; es zeigen sich aber sehr wesentliche Unterschiede, die man keineswegs als Beobachtungsfehler ansehen kann, sie geben vielmehr, übereinstimmend mit der obigen Auseinandersetzung, zu erkennen, dass die Wassermenge, welche aus den Gebirgsgegenden den Strömen zugeführt wird, viel bedeutender ist, als diejenige, welche eine gleiche Oberfläche des ebenen Landes liefert.

Ueber die einzelnen Beobachtungen der Tabelle muss aber noch bemerkt werden, dass

No. 1. zwar nur auf einer einzelnen Messung beruht, die aber bei einem Wasserstande angestellt wurde, der dem mittleren sehr nahe kommt, und sie überdies sich an andere bei kleinerem Wasser angestellte gut anschliesst.

No. 2. gründet sich auf eine einzige Messung bei sehr niedrigem Wasser; das aus ihr gezogene Resultat verdient sonach viel weniger Vertrauen, als jenes.

No. 3. liegen mehrere Messungen zum Grunde, die jedoch in allen Details nicht mehr bekannt sind.

No. 4. bezieht sich auf mehrere Beobachtungen, die vor wenig Jahren bei verschiedenen Wasserständen mit vieler Sorgfalt angestellt sind.

No. 5. und 6. liegen wieder nur einzelne Messungen zum Grunde, die aber bei Wasserständen gemacht sind, welche nicht viel unter dem mittleren waren.

No. 7. ist endlich auf einer Messung basirt, die ich bei einem Wasserstande, der dem mittleren sehr nahe kam, ausgeführt habe.

§. 7.

Quellenbildung.

Die Wassermenge, welche die Ströme abführen, ist sonach im Allgemeinen kaum die Hälfte von derjenigen, welche als Regen und Schnee in dem ganzen Stromgebiete niederfällt, und die Annahme, dass die sämmtlichen Flüsse allein dem atmosphärischen Niederschlage ihren Ursprung verdanken, erscheint in dieser Be-

ziehung vollständig gerechtfertigt. Einzelne Quellen zeigen indessen Erscheinungen, die sich auf diese Art nur unter Voraussetzung einer ganz eigenthümlichen Lage der theils undurchdringlichen, theils wasserleitenden Schichten im Erdboden erklären lassen, und wenn solche unwahrscheinlichen Verhältnisse häufig angenommen werden müssten; so würde sich hieraus ein sehr begründeter Zweifel gegen diese Erklärungsart ergeben. Unter der zahllosen Menge von Quellen und Brunnen, die man beobachtet hat, giebt es indessen nur wenige, welche etwas Wunderbares zeigen, und es rechtfertigt sich daher für diese sehr wohl die Annahme, dass eine eigenthümliche Gestaltung des Bodens, deren Stattfinden im Allgemeinen wenig Wahrscheinlichkeit hat, hier wirklich eingetreten ist. In dieser Art erklärt es sich, wenn z B. im aufgeschwemmten Boden, zwischen zwei tiefen Stromarmen, eine Quelle bis über das Niveau des sie ringsumgebenden Stromes aufsteigt, wie sich dieses durch Abbohrung eines Artesischen Brunnens neben der Domkirche in Königsberg auf einer Insel in dem sehr tiefen Pregel vor einigen Jahren ereignet hat, und weit auffallender ist noch das Phänomen, das Poussin *) erwähnt, dass nämlich vor der Mündung des Missisippi in einer Bank von aufgeschwemmtem Boden Salzquellen in der Höhe von $7\frac{1}{2}$ Fuss über dem mittleren Spiegel der See ausfliessen, welche, da der Unterschied zwischen hohem und niedrigem Wasser hier noch nicht 13 Fuss beträgt, sogar über dem Wasserstande zur Zeit der Fluth liegen. Auch findet man zuweilen, dass unmittelbar am Strande des Meeres und noch dazu an ganz flachen Ufern sich süsses Wasser in einem Brunnen sammelt, wobei es gewiss unerwartet ist, dass die Quellen desselben nicht mit dem naheliegenden Wasserbecken in Verbindung stehen, sondern von diesem getrennt aus grösserer Entfernung gespeist werden. Eine solche Annahme schliesst indessen keineswegs eine Unmöglichkeit in sich, und sie ist sogar um Vieles wahrscheinlicher, als die gewagten Hypothesen, die man sonst über den Ursprung der Quellen aufgestellt hat und welche mit den übrigen Erfahrungen und Erscheinungen beinahe ausser allem Zusammenhange stehen.

*) *Travaux d'améliorations intérieures des états unis d'Amérique par G. Poussin.* Paris 1834. p. 226.

In neuerer Zeit, seitdem die Artesischen Brunnen manche überraschende Resultate gegeben haben, sind solche Zweifel gegen jene Erklärungsart von neuem angeregt, und dafür wieder andere Hypothesen vertheidigt, die zum Theil schon früher aufgestellt waren. Einige derselben, welche noch die meiste Berücksichtigung verdienen, will ich hier kurz berühren. *)

Hierher gehört zunächst die Vorstellung, welcher Descartes und Silberschlag folgten, dass das Meereswasser durch unterirdische zusammenhängende Höhlungen den Erdboden durchzieht, und so tief in denselben eindringt, bis die zunehmende Erwärmung (auf 80 bis 100 Fuss Tiefe scheint im Allgemeinen die Wärme des Bodens um 1 Grad Reaumur zuzunehmen) das Wasser zum Sieden bringt. Auf solche Art sollen sich Dämpfe bilden, die in den gleichfalls vorhandenen senkrechten Spalten wieder in die Höhe steigen, bis sie in der Nähe der kalten Oberfläche, wie in dem Helme einer Destillirblase, niederschlagen und als tropfbar flüssiges Wasser zum Vorschein kommen. Wollte man hierbei auch alle die gewagten Voraussetzungen, die sich eben so wenig bestimmt widerlegen, als begründen lassen, für wahr ansehen, so zeigt eine bekannte Thatsache, wie dieses schon de Luc bemerkte, die Unhaltbarkeit der ganzen Erklärung. Die Wassermenge der Quellen erreicht nämlich niemals bei starker Kälte ihr Maximum, wie dieses doch der Fall sein müsste, wenn hier wirklich eine Destillation vor sich ginge, sondern gerade während des Frostes pflegen die Quellen am ärmsten zu werden, und dagegen schwellen sie beim Schmelzen des Schnees, also beim Wiedereintritt der Wärme und nach starkem Regen am meisten an.

Ferner hat man in der Capillar-Attraction die Kraft gesucht, durch welche wieder das Seewasser bis zum Kamme der höchsten Gebirge gehoben werden sollte. Legt man einen weichen Sandstein, der vorher trocken war, in ein Gefäss mit Wasser, so wird der Stein nicht nur in dem eingetauchten Theile vom Wasser durchzogen, sondern dasselbe steigt darin langsam einen Fuss, auch wohl noch etwas höher hinauf, und zwar ist die Erscheinung genau übereinstimmend mit dem Aufsteigen des Wassers in Haar-

*) Vergl. Hoffmann's physische Geographie, und *Arago sur les puits forés* im *Annuaire pour l'an* 1834.

röhrchen, welches bekanntlich bis zu einer um so grösseren Höhe erfolgt, je enger die Röhre ist. Die Benetzung des Steines wird um so höher heraufreichen, je feiner das Korn desselben ist, denn in gleichem Maasse müssen sich im Allgemeinen auch die Zwischenräume zwischen den einzelnen Körnchen verengen. Wenn beim feinsten Sande oder einem sehr feinkörnigen Sandsteine die Zwischenräume $\frac{1}{100}$ Linien weit sind, so möchte das Wasser etwa 4 Fuss hoch den Stein benetzen; damit die Benetzung sich aber auf 15000 Fuss Höhe erstreckt, wo doch noch viele Quellen sich zeigen, so müssen die Zwischenräume nur den 250000 Theil einer Linie weit sein. Es fehlt natürlich jede Bestätigung dafür, dass solche kleine Dimensionen wirklich vorhanden sind, und dass in dieselben noch das Wasser, mit Befolgung des gleichen Gesetzes, wie in den viel weiteren Haarröhrchen, eindringt; demnächst muss auch die Voraussetzung gemacht werden, dass die Salztheilchen, welche in dem Meereswasser befindlich sind, zu grob wären, um durch diese feinen Räume noch eindringen zu können, denn das Wasser enthält dieselben nicht mehr, wenn es an der Oberfläche wieder erscheint. Diese ganze Hypothese könnte indessen immer nur eine Erklärung dafür abgeben, dass das Erdreich bis zu den höchsten Bergen durchnässt, oder mit Wasser durchzogen wäre, und es bliebe noch immer die fernere Frage zu beantworten, durch welche zweite, der Capillar-Attraction entgegenwirkende Kraft, die Wassertheilchen, sobald sie oben angelangt sind, aus den feinen Zwischenräumen herausgerissen werden, so dass sie wieder frei abfliessen können. Ein schmales Stückchen Schwamm, welches man über den Rand eines mit Wasser gefüllten Gefässes hängen lässt, wirkt freilich wie ein Heber und führt in einzelnen Tropfen das Wasser über den Rand; aber diese Wirkung hört ebenso, wie die des Hebers, augenblicklich auf, sobald das überstehende Ende in gleicher Höhe, oder gar noch höher als der Wasserspiegel im Gefässe, sich befindet; die blosse Voraussetzung einer sehr kräftigen Capillar-Attraction ist also keineswegs hinreichend, um den Ursprung der Quellen zu erklären.

Eine dritte Hypothese, welche namentlich in neuerer Zeit durch die Ergiebigkeit mancher Artesischen Brunnen angeregt ist und die mitunter von sehr ausgezeichneten Physikern vertheidigt wird, setzt voraus, dass in grösserer oder geringerer Tiefe unter

der Erdoberfläche Wassermassen eingesperrt sind, welche keinen natürlichen Ausweg haben und welche unter dem Gewichte des darauf liegenden Bodens sich in einer sehr starken Spannung befinden. Sobald ein Bohrloch bis zu einer solchen Wasserblase herabgetrieben wird, entsteht ein springender Strahl, der um so heftiger aufsteigt, je grösser der Druck des Erdreiches in Vergleich zum Drucke einer eben so hohen Wassersäule ist. — Es verdient kaum erwähnt zu werden, dass die überdeckende Erdschicht eine ganz eigenthümliche Beschaffenheit haben muss, damit sie eines Theils wasserdicht und andern Theils auch wieder so biegsam und in ihren Theilen zugleich so innig zusammenhängend ist, dass sie nicht stückweise herabfallen, sondern im Ganzen auf der Oberfläche des Wassers ruhen und dieselbe drücken kann. Diese Erklärung lässt sich übrigens auf andere, als die aufgebohrten Quellen, nicht leicht anwenden, wenigstens nicht auf solche, von denen man weiss, dass sie schon Jahrhunderte, oder Jahrtausende hindurch fliessen; auch wo Felsenboden sich vorfindet, ist ein Aufliegen und ein Drücken auf das unterirdische Wasserbassin ganz undenkbar. Bei den künstlich eröffneten, gebohrten Brunnen zeigt sich zuweilen eine bald eintretende merkliche Abnahme der ausfliessenden Wassermenge, und dieser Umstand scheint die in Rede stehende Hypothese zu bestätigen, doch ist die Erscheinung auch unter der viel einfacheren Voraussetzung einer Speisung durch Tageswasser keineswegs unerklärlich, und sie steht vielmehr im genauesten Zusammenhange mit der ganz gleichen Erscheinung, die man bei den meisten Röhrenleitungen wahrnehmen kann, dass nämlich im ersten Momente nach dem Oeffnen des Hahnes das Wasser viel heftiger ausströmt, als später; der Grund davon wird in Folgendem entwickelt werden.

Dieses wären die vorzüglichsten Hypothesen, die man aufgestellt hat, um den Ursprung der Quellen anders als durch den atmosphärischen Niederschlag zu erklären; der Grund aber, weshalb man sonst und zum Theil auch jetzt noch den letzteren nicht für ausreichend hielt, war ausser einer unverkennbaren, der früheren Physik eigenthümlichen Vorliebe zum Wunderbaren, zunächst die Ueberschätzung des Wasserreichthums der Quellen; ferner, wie schon erwähnt ist, manche Eigenthümlichkeiten, welche sich hin und wieder zeigen und welche bei dieser Erklärungs-

weise eine seltene Combination der Schichtung der Erdoberfläche voraussetzen, und endlich noch die Bemerkung, dass gewisse Erdarten auf keine grosse Tiefe das Wasser eindringen lassen und daher eine Quellenbildung hier unmöglich ist. Was den letzten Grund betrifft, so ist derselbe schon von Seneca erwähnt, und die spätern Beobachtungen, namentlich von de la Hire, zeigten, dass in der Gartenerde, wenn sie im gewöhnlichen compacten Zustande sich befindet, das Regenwasser nicht tiefer, als höchstens etwa bis auf einen Fuss eindringt, und sonach die Quellen, die man in der Tiefe von mehreren Hundert Fuss aufgebohrt hat, hiermit offenbar in gar keinem Zusammenhange stehen. Die ganze Erdoberfläche ist indessen keineswegs mit Gartenerde überdeckt, und eben so wenig besteht sie aus wasserdichten Felsarten, die keine Zwischenräume und Spalten haben: es finden sich vielmehr häufig auch Ablagerungen von Sand und Kies oder klüftigem Gesteine, welche das Wasser mit grosser Leichtigkeit durchdringt. Die Beobachtungen und Erfahrungen in vielen Bergbauen zeigen auch sehr deutlich, dass der Wasserzudrang daselbst, ungeachtet der bedeutenden Tiefe, worin sie sich befinden, von dem Regen und Schmelzen des Schnees abhängig ist; so bemerkt man in den Gruben zu Cornwallis, dass wenige Stunden nach einem starken Regen die Grubenwasser zunehmen, und dasselbe hat man in den Kohlenzechen an der Ruhr gleichfalls wahrgenommen. Es ergiebt sich hieraus augenscheinlich, dass selbst solche tiefliegende Quellen dem Regen ihren Ursprung verdanken.

Auf welche Art das Wasser in den Boden eindringt und an den tiefern Stellen der Erdoberfläche wieder zum Vorschein kommt, kann bei einem kiesigen und sandigen Grunde nicht zweifelhaft sein. Jenachdem die Zwischenräume, die sich darin vorfinden, grösser oder kleiner sind, und jenachdem der Weg, den das Wasser im Sande machen muss, kürzer oder länger ist, so erfolgt das Durchdringen auch mit grösserer oder minderer Schnelligkeit. Füllt man eine oben und unten offene Glasröhre, die auf eine Metallplatte gestellt ist, mit Sand und giesst dann Wasser hinein, so wird letzteres schnell in den Sand eingezogen, und man bemerkt, wie gleichzeitig der Sand durchnässt wird. War die Wassermasse nicht hinreichend, um allen Sand bis zum untern Ende der Röhre zu benetzen, so erfolgt keine weitere Bewegung

des Wassers; dasselbe wird vielmehr durch die Capillar-Attraction so fest im Sande gehalten, dass die Wirkung der Schwere sich dabei nicht weiter zu erkennen giebt. Die vollständige Benetzung des Sandes erfolgt, wenn $\frac{1}{3}$ bis $\frac{2}{5}$ von dem Volum des Sandes an Wasser zugegossen sind. Ein stärkerer Zusatz an Wasser kann weder aufgenommen, noch gehalten werden; die Capillar-Attraction setzt seiner Bewegung auch kein weiteres Hinderniss entgegen, sie erlaubt den einzelnen Wassertheilchen, der Wirkung der Schwere zu folgen, so lange andere an deren Stelle treten, und nur die letzten hält sie mit ihrer ganzen Kraft zurück. So kommt es denn, dass das Wasser, welches in den erwähnten Apparat nach der vollständigen Benetzung des Sandes noch eingegossen wird, aus der untern Oeffnung der Röhre hervorquillt, und wenn man umgekehrt das Wasser von unten in die mit trocknem Sande gefüllte Röhre eindringen lässt, so wird der Sand bis zu einer gewissen Höhe benetzt werden, aber weiter zieht sich kein Wasser mehr hinein, weil die Capillar-Attraction nur bis zu einer bestimmten Grenze wirksam bleibt und eine andere Kraft nicht vorhanden ist, um das Wasser noch ferner steigen zu lassen. Auf solche Art setzen sich zwei verschiedene Wasserspiegel, die durch zwischenliegende Sand- oder Kiesmassen von einander getrennt sind, nach und nach in gleiches Niveau; daher rührt die Ansammlung des Wassers im Kessel der Venetianischen Brunnen, und ebendaher ist es so schwer, in einem Boden dieser Art einen Wasserstand zu halten, der höher oder niedriger als der des Grundwassers ist. Liegt letzteres bedeutend unter der Oberfläche des Erdbodens, so wird eine Ableitung des Tagewassers nach einer niedrigeren Gegend überflüssig sein, indem selbiges sich schon in den Boden einzieht und von selbst verschwindet. Dieses eindringende Wasser ist jedoch selten ganz rein, gewöhnlich schweben darin feine Thon- und Humustheilchen, die es mehr oder weniger trüben. Diese Theilchen dringen gleichfalls in die Zwischenräume zwischen den Sandkörnchen ein, aber bald finden sie den Weg so verengt, dass sie stecken bleiben, und sonach werden sie vom Wasser ausgeschieden, und dieses kommt in einem klaren und durchsichtigen Zustande wieder zum Vorschein, wenn es auch trübe hineingeflossen war. Hierauf beruht die Wirksamkeit der Filtrir-Apparate, die man zum Reinigen des

Wassers anwendet und wovon später ausführlicher die Rede sein wird. Es folgt hieraus auch, dass die Poren des Sandes in der Nähe der Oberfläche nach und nach verstopft werden und der Sand dadurch die Eigenschaft verlieren muss, das Wasser noch ferner durchzulassen. Hat aber diese Eigenschaft aufgehört, während der Zufluss des trüben Wassers fortdauert, so sinken die feinen Theilchen bei der aufhörenden Bewegung auch ferner noch zu Boden und die wasserdichte Schicht gewinnt immer mehr und mehr an Stärke. Will man nun das Tagewasser aus einer solchen versumpften Gegend entfernen, so darf man nur die obere Schicht durchstechen und das Wasser zieht sich von Neuem in den Boden ein. Dieses erfolgt so lange, als die Zwischenräume in dem Sande noch offen bleiben.

Hierauf beruht die Wirksamkeit der sogenannten Schlinggruben oder Senkgruben, die zuweilen ihren Zweck, nämlich die Entfernung des Tagewassers, sehr vollständig erfüllen. Sie pflegen indessen sich bald zu verstopfen und werden dann unbrauchbar; man kann ihre Dauer jedoch sichern, wenn man sie von Zeit zu Zeit nicht nur aufgräbt — denn dadurch würden sie immer tiefer werden, bis man sie endlich verlassen müsste — sondern dass man nach dem jedesmaligen Ausheben der verunreinigten Sandschicht eine eben so starke Lage reinen Sandes hineinbringt, denn die an den Filtrir-Apparaten gemachten Erfahrungen zeigen, dass die feinen Erdtheilchen nur wenig Zolle tief in den Sand einzudringen pflegen. Durch dieses Mittel könnte man also den sandigen oder kiesigen Untergrund in seiner vollen Reinheit und Wirksamkeit erhalten. Um an einem Beispiele zu zeigen, dass solche Schlinggruben bedeutende Wassermassen abführen können, erinnere ich an das rechte Rheinufer oberhalb Cöln. Von dem Gebirge, welches hier in die Ebene des Rheinthales ausläuft, kommen zwischen Siegburg und Deutz sechs Bäche herab, die zum Theil Mühlen treiben, die aber sämmtlich, sobald sie in die Ebene treten, versiegen; es zieht sich zwischen diesen Bächen und dem Rheine sogar eine sehr merkliche Anhöhe hin, welche die Durchführung künstlicher Abzugsgräben erschwert. Der Boden besteht aber aus dem ziemlich groben Rheinkiese, den das Wasser leicht durchdringt und der das Grundwasser wahrscheinlich im Allgemeinen nicht viel höher, als den Wasser-

spiegel des Rheins steigen lässt. Ziemlich in der Mitte der erwähnten Ebene liegt das Dorf Lind, welches nur durch Schlinggruben vom Wasser frei gehalten wird; dieselben werden mit wenig Vorsicht von den Bewohnern eröffnet und unterhalten, aber dennoch erfüllen sie in gewöhnlichen Fällen ihren Zweck, und nur bei anhaltend hohem Wasserstande des Rheins, wobei natürlich das Grundwasser gleichfalls steigt, zeigen sie sich als unzureichend und lassen dann den Mangel eines Abzugsgrabens schmerzlich empfinden.

Diese Thatsachen beziehen sich auf die einfachsten Fälle und liegen ganz im Kreise derjenigen Erscheinungen, die wir noch heute um uns vorgehen sehen. Die mächtigen Ablagerungen des aufgeschwemmten Bodens, welche den grössten Theil der Erdoberfläche bedecken, sind wahrscheinlich unter ähnlichen Verhältnissen gebildet; sind sie der Niederschlag des stehenden, oder doch nur wenig bewegten Wassers, welches die darin schwebenden Thontheilchen fallen liess, so stellen sie eine für das Wasser mehr oder weniger undurchdringliche Schicht dar. Führte dagegen ein heftiger Strom grobes Geschiebe und Kies herbei und warf es in seinem Bette auf, wie dieses noch heute in den Flüssen geschieht, so bildete sich die wasserleitende Schicht; das Letztere musste auch geschehen, wenn anhaltender Wellenschlag eine bereits früher erfolgte Ablagerung traf und alle feinen Theilchen daraus wieder auswusch. Die Verhältnisse bleiben aber keineswegs immer unverändert; die allmälige Umgestaltung des Terrains wird bald Veranlassung, dass wasserleitende Schichten später von undurchdringlichen bedeckt werden und umgekehrt: ebenso wie dieses in den Flussthälern, worin die Ufer nicht vollständig gesichert sind, auch noch geschieht. Auf diese Art ist eine mannigfache Abwechselung der beiden Gattungen von Schichten entstanden, und in Rücksicht auf die Quellen bildet sich eine noch grössere Verschiedenheit dadurch, dass diese Schichten nicht immer horizontal liegen und dass sie bestimmte, oft sehr scharf abgeschnittene Grenzen haben.

Eine wasserleitende Schicht, welche an ihrem obern Ende das Regenwasser aufnimmt, bildet einen natürlichen Quell, wenn sie am untern Ende auf einer tieferen Stelle wieder die Erdoberfläche trifft; erreicht sie jedoch nicht die Erdoberfläche, und bleibt

sie, eines starken Wasserdruckes ungeachtet, mit einer undurchdringlichen Schicht bedeckt, so wird diese, wenn sich auch kein eigentlicher Quell darin bilden kann, doch immer vom Wasser stark befeuchtet werden und aus diesem Grunde oft unfähig zur Cultur sein. In solchem Falle befand sich die kleine Besitzung Princetorp in Warwick, wo Elckingston den ersten Versuch zur Trockenlegung der Felder machte, und wo er seine Wirksamkeit begann, die bald darauf weit und breit in Anspruch genommen und später auf Veranlassung der Gesellschaft zur Beförderung des Ackerbaues durch den Doctor Johnston beobachtet und bekannt gemacht wurde. Der thonige Untergrund war hier beständig vom Wasser durchzogen, und die Gräben, die man anlegte, verfehlten ihren Zweck, indem kein Wasser hineinfloss. Elckingston hatte als letzten Versuch noch einen sehr tiefen Graben ausheben lassen, der aber, gleich den früheren, sich nicht mit Wasser füllte. Als er aber absichtslos seinen Stock in die Sohle des Grabens tief hineinstiess, erreichte er zufällig die wasserleitende Kiesschicht, welche dem Thone das Wasser zugeführt hatte; ein starker Quell sprudelte mit Heftigkeit hervor und das Feld wurde trocken.

Erreicht man durch Graben oder Bohren Schichten dieser Art, so füllen sich die Brunnen mit Wasser an, und wenn die Höhenlage es gestattet, so werden solche Brunnen auch überfliessen. Doch auch diejenigen Kiesschichten, denen ein natürlicher Abfluss nicht fehlt, sind zur Speisung von Brunnen geeignet, und auch sie können überfliessende Brunnen bilden, wenn das Wasser auf dem neuen künstlichen Wege leichter entweichen kann, als durch den früheren natürlichen Abfluss.

Endlich aber werden manche Kiesschichten am obern Ende keinen natürlichen Zufluss erhalten, während sie unten geöffnet sind; wenn daher zufälligerweise Wasser in sie eindringt, so werden sie dieses sehr leicht aufnehmen und abführen, und dasselbe muss sich auch ereignen, wenn die Capacität des Abflusses grösser ist, als die zugeführte Wassermenge. Dieses sind die absorbirenden Schichten, die sehr geeignet sind, einen Zweck zu erfüllen, welcher dem der gewöhnlichen Brunnen gerade entgegengesetzt ist. Bei den Entwässerungsanlagen, die Elckingston später ausführte, benutzte er zuweilen auch solche absorbirende Schichten und stürzte das Wasser unmittelbar aus der Kiesschicht,

die es zuführte, durch ein Bohrloch in eine darunter befindliche absorbirende Schicht. Auch bei Brunnenanlagen zeigen sich häufig Schichten der letzten Art: auf dem hohen Ufer der Samländischen Küste in Ost-Preussen, nahe an der See, besteht unter Andern ein achtzig Fuss tiefer Brunnen, der zwar immer Wasser enthielt, der aber im Gebrauche unbequem war. Man glaubte, durch weitere Vertiefung reichhaltigere Quellen zu eröffnen und den Wasserspiegel zu heben; doch war der Erfolg gerade ein entgegengesetzter: man erreichte eine absorbirende Schicht, und der Brunnen versiegte ganz. Aehnliche Beispiele ereignen sich nicht selten, wo überhaupt dergleichen abwechselnde Schichten vorkommen.

Es ist bisher nur von wasserleitenden und undurchdringlichen Schichten die Rede gewesen, es versteht sich jedoch von selbst, dass alle möglichen Abstufungen zwischen beiden vorkommen. Zu diesen gehört auch der Sand, der wegen der Art, wie er das Wasser ausfliessen lässt, noch eine ganz besondere Erwähnung verdient; ich muss aber zuerst auf die Eigenschaft des Sandes aufmerksam machen, dass er bei seiner Ablagerung verschiedene Grade von Dichtigkeit zeigen kann. Wird die Schüttung mit grosser Vorsicht und recht leise ausgeführt, so dass die einzelnen Körnchen sich möglichst sanft niederlegen, so lassen sie grössere Räume zwischen sich, die auch später durch blossen Druck nicht entfernt werden können, indem wenigstens der reine Sand nicht comprimirbar ist. Wenn dagegen eine Erschütterung erfolgt, so lagern sich die einzelnen Körnchen weit dichter, so dass nunmehr ein sehr starkes Setzen eintritt. Dieses Setzen erreicht aber bei ganz trockenem Sande keineswegs das Maximum: träufelt man Wasser darauf, so vermindert sich immer noch ziemlich merklich der cubische Inhalt. Aber man kann bei einer sehr starken Durchnässung und durch heftiges Umrühren auch wieder den allerlockersten Zustand der Schüttung darstellen und die Körnchen so übereinander legen, dass sie sich gegenseitig eben nur stützen und sie bei einem Stosse durch einander fallen. Ich nahm eine Quantität rein ausgewaschenen trockenen Seesand und schüttete ihn durch einen Trichter vorsichtig in ein cylindrisches Gefäss von $1\frac{3}{4}$ Quadratzoll Grundfläche. Die Höhe der Schüttung betrug 6,92 Zoll. Darauf stampfte ich den Sand durch wiederholtes Einstossen eines Drahtes, bis derselbe zuletzt den Sand nicht

mehr durchdringen konnte. Jetzt betrug die Höhe nur noch 6,37 Zoll. Die Dichtigkeit hatte also ungefähr um $\frac{1}{12}$ zugenommen. Durch vorsichtiges Hinzutröpfeln (damit nicht etwa grosse Luftmassen in dem Sande zurückblieben) konnte ich eine Quantität Wasser, die einer Höhe des Cylinders von 2,16 Zoll entsprach, hineinbringen, und indem ich den Sand von Neuem stampfte, betrug seine Höhe nur noch 6,17 Zoll; das Volum hatte also wieder um $\frac{1}{30}$ abgenommen. Ein fernerer Zusatz von Wasser sammelte sich sogleich an der Oberfläche, doch zog er sich beim Umrühren wieder in die dadurch entstehenden Zwischenräume ein, und es war auf solche Art sogar möglich, im Ganzen 3 Cubikzoll Wasser in den Sand zu bringen; die Höhe des Gemenges betrug nun 7,42 Zoll, es musste also auch eine gewisse Quantität Luft durch das Umrühren mit hineingekommen sein.

Die Festigkeit, sowie die Eigenschaft, das Wasser durchzulassen, sind bei diesen verschiedenen Arten der Ablagerung auch sehr verschieden. Der compact geschüttete und benetzte Sand widersteht einem starken Drucke, während die letzterwähnte lose Schüttung dem geringsten Eindrucke nachgiebt. Beide Erscheinungen zeigen sich häufig sehr auffallend an sandigen Meeresküsten: ein niedriger, vom starken Wellenschlage unlängst getroffener Seestrand zeigt eine Härte, wie man sie nur auf chaussirten Wegen findet: die Wagenräder rollen darüber, ohne eine Spur zu hinterlassen, und kaum erkennt man die Stellen, wo der Pferdehuf aufschlug. Wenn dagegen durch das Steigen des Grundwassers, wie etwa beim Anschwellen der See, niedrige Sandflächen inundirt werden, dann bildet sich jener gefährliche und leicht bewegliche Boden, der unter dem Namen des Triebsandes bekannt ist, worin zuweilen Reisende und noch häufiger Pferde und Vieh verunglücken. Am interessantesten ist die Erscheinung des Triebsandes, wenn derselbe schon seit einigen Wochen sich gebildet hatte und das Wasser von seiner Oberfläche wieder verschwunden ist, so dass diese wieder trocken wurde. Man erkennt solche Stellen nur an ihrer vollkommen horizontalen Lage und an der Abwesenheit jeder Vegetation; betritt man sie, so empfindet man ein sanftes Schwanken des Bodens, das bei heftigem Auftreten und Springen aber so bedeutend wird, dass Flächen von mehreren Ruthen Durchmesser merklich auf und niederschwingen. Doch

zu lange darf ein solcher Versuch nicht fortgesetzt werden, sonst bricht der Boden. Man kann aber leicht auch ohne gewaltsames Einbrechen den Triebsand verschwinden machen, um ohne Gefahr darüber zu kommen: man darf nur eine zugespitzte Stange wiederholentlich einstossen, so quillt das Wasser mit Heftigkeit heraus und der Sand lagert sich fester. Wenn Pferde oder Menschen hineingerathen, so erfolgt auch augenblicklich das Ausscheiden des Wassers. Es spritzt bei dieser Gelegenheit sogar in starken Strahlen herauf, und der Sand lagert sich um den darin steckenden Gegenstand so genau schliessend, dass eben dadurch das Herauskommen für Pferde und Vieh ohne fremde Hülfe unmöglich wird. Die Oberfläche bedeckt sich bei dieser Gelegenheit mehrere Zoll hoch mit Wasser, und auf einem weiten Umkreise ist alle Gefahr vor einem ähnlichen Einsinken verschwunden. Bis zu welcher Tiefe der Triebsand sich bildet, wird man daraus entnehmen, dass Pferde nicht selten so tief hineinstürzen, dass der Sand über ihrem Rücken zusammenschlägt und nur der Kopf frei bleibt; auf der Frischen Nehrung habe ich selbst dieses gesehen.

Wenn der Sand festgelagert ist, so dringt das Wasser durch denselben zwar hindurch, doch geschieht dieses weit langsamer, als wenn die Sandkörnchen eine lose Stellung wie im Triebsande eingenommen haben. Erfolgt die Durchströmung von oben nach unten, so wird der lockere Zustand bald aufgehoben und es bildet sich eine feste Ablagerung; im umgekehrten Falle verwandelt sich dagegen selbst die feste Ablagerung in eine lose. Dass dieses wirklich der Fall ist, davon kann man sich leicht überzeugen, wenn man eine Röhre in ein Glas stellt und letzteres mit feuchtem Sande recht fest anfüllt, so dass man z. B. einen Draht nur mit Mühe hineinstossen kann. Giesst man nun in die über dem Sande vorstehende Röhre Wasser hinein, so dass dieses von unten nach oben den Sand durchdringen muss, um sich ins Gleichgewicht zu setzen, und lässt man es mit dem Drucke von einigen Zollen auf den Sand wirken, so verschwindet sehr schnell die frühere Festigkeit des letzteren, und jener Draht, den man zuvor nur mit Mühe hineinbringen konnte, dringt von selbst zu Boden.

Dieser Versuch dürfte für die meisten Fälle die Entstehung des Triebsandes erklären: Quellen, die im Sandboden aufsteigen, erzeugen jedesmal Triebsand, doch giebt es noch eine andere

4*

Veranlassung zur Bildung desselben: der Sand ist nämlich festgelagert, sobald die einzelnen Körnchen sich gegenseitig entweder durch directe Unterstützung, oder auch durch die zwischen ihnen stattfindende Reibung so festhalten, dass kein weiteres Eindringen in die Zwischenräume erfolgt. Bei einer geringen Benetzung tritt die Wirkung der Capillar-Attraction ein, welche den gegenseitigen Druck und sonach die Reibung vermehrt; wird aber das Wasser so reichlich zugesetzt, dass die Capillar-Attraction aufhört (wie dieses z. B. geschieht, wenn man trocknen Sand in ein mit Wasser gefülltes Gefäss schüttet, wobei augenscheinlich ein Körnchen gar nicht mehr an dem andern haftet), dann ist die Reibung geringer, als sie bei der trocknen Schüttung war, indem das Wasser wie eine Schmiere wirkt. So kann eine Sandschüttung durch das Zutreten von vielem Wasser ihre Festigkeit verlieren. Dass aber die Reibung bei stark durchnässtem Sande wirklich geringer ist, als bei trocknem, zeigt sich deutlich, wenn man die stärksten Böschungen misst, die trockner Sand und eine Sandschüttung unter Wasser annimmt; für jenen reinen Seesand fand ich im trocknen Zustande die stärkste Neigung gegen den Horizont gleich $35\frac{1}{2}$ Grad, während er unter Wasser sich nicht steiler, als höchstens unter 29 Grad stellen liess.

Endlich wird der Triebsand auch noch erzeugt, wenn Sandmassen in stehendes Wasser geweht, oder durch Bäche hineingespühlt werden. Doch scheinen die drei verschiedenen Ursachen, die ich angeführt habe, immer noch nicht genügend, um die Auflockerung des Sandes bis zu der Tiefe zu erklären, in welcher der Triebsand zuweilen vorkommt, und man muss, wie mich dünkt, noch die Voraussetzung machen, dass an manchen Stellen der Sand seine lockere Beschaffenheit seit seiner ersten Ablagerung beibehalten hat; dieses Letzte wäre derjenige Triebsand, den man bei allen Bauten mit Recht fürchten muss, und man wird ihn erkennen, wenn Pfähle mit Leichtigkeit hineindringen, ohne dass eine Senkung des Wassers in der Baugrube vorgenommen ist, dagegen wird keine Besorgniss gegen die natürliche Festigkeit des Sandbodens begründet, wenn während des Pumpens sich Triebsand bildet, denn auch der festeste Sand verwandelt sich in einen solchen, sobald man durch Senkung des Grundwassers die Quellen gewaltsam in der Richtung von unten nach oben hindurch-

treibt. Ein fortgesetztes Pumpen kann in diesem Falle aber sehr nachtheilige Folgen haben und einen an sich guten Baugrund verderben; man muss daher im sandigen Boden mit der Anwendung von Schöpfmaschinen äusserst behutsam sein und keine starke Senkung des Grundwassers lange Zeit hindurch erzwingen wollen. Das Anwachsen der Quellen und eine sehr bemerkbare zunehmende Unzulänglichkeit der Pumpen pflegt in solchem Falle auch gewöhnlich zu zeigen, wie die Quellen immer mehr den Grund verschlechtern.

Dieselben Verhältnisse, wie in dem aufgeschwemmten Boden, zeigen sich auch in den Gebirgsformationen, und die Bildung der Quellen ist hier zuweilen noch viel auffallender, insofern einige Gebirgsarten dem Wasser einen weit leichteren Durchfluss gestatten, als die erwähnten Kiesablagerungen. Namentlich ist dieses bei manchen Sandsteinen und besonders beim klüftigen Kalke der Fall; es bilden hier nicht nur die ursprünglichen Spalten ein zusammenhängendes Netz von Fugen, sondern es tritt auch noch eine fortdauernde Erweiterung derselben durch das hindurchfliessende Wasser ein, und so entstehen vollständige Wasserleitungen und sogar weit ausgedehnte unterirdische Bach- und Flussbetten. Die weiten Höhlen, die man mitunter auf stundenlange Entfernungen verfolgt hat, gehören wenigstens theilweise hierher; einige von ihnen werden noch durch starke Bäche durchströmt: so die Höhle im Thale des Caripe in Peru und manche Höhlen im Adelsberge in Illyrien. Bei andern sind freilich die Oeffnungen nicht so gross, dass man sie verfolgen könnte, aber dennoch zeigt sich hin und wieder die Erscheinung, dass auch grössere Körper mit dem Wasser aus dem Boden treten, woraus es sich ergiebt, dass der unterirdische Lauf ohne Unterbrechung eine entsprechende Weite haben muss. So kamen aus dem Bohrloche bei Tours Saamen von Sumpfpflanzen, Dornenzweige von etwa 1 Zoll Länge, Stücke Wurzeln, kleine Muscheln und dergleichen aus einer Tiefe von 109 Meter herauf. Durch andere Brunnen sind lebende Fische ausgeworfen, auch hat man beim Abbohren Artesischer Brunnen häufig bemerkt, dass plötzlich das Gestänge des Bohrers herabsank; zu Fontainebleau geschah dieses bis auf $7\frac{1}{2}$ Meter, oder die Höhle, die man anbohrte, hatte eine Höhe von mindestens 24 Fuss, und hier, wie in andern Fällen, bemerkte man ein

fortgesetztes Schwingen des Gestänges, welches sich nur dadurch erklären lässt, dass das untere Ende desselben in einen sehr heftigen Strom eintauchte.

Das Vorhandensein solcher Ströme giebt sich aber auch sehr deutlich durch die grossen Wassermassen zu erkennen, die in manchen Fällen theils vom Boden verschluckt werden und theils gewaltsam aus demselben wieder hervorbrechen. Ein Beispiel hiervon war schon im frühesten Alterthume bekannt: der Kephissos in Böotien ergiesst sich in den Kopaischen See, ohne dass letzterer einen offenen Abfluss hat; nichts desto weniger schwillt der See keineswegs fortwährend an, sondern im Gegentheile fliesst er im Sommer beinahe ganz ab, und es zeigen sich dann in dem Boden, der in einer Kalkformation besteht, fünf Abzugsöffnungen, die zum Theil so geräumig sind, dass man auf eine Strecke hineingehen kann. Aus eben so vielen Ausflussmündungen kommt das verschluckte Wasser wieder zum Vorschein; vier derselben liegen östlich in der Entfernung von 3 bis 4 Meilen am Ufer der Meerenge von Negropont, eine fünfte liegt viel näher dem Kopaischen See, und der Fluss, der daselbst entspringt, führt wieder den Namen Kephissos. In die ersten fünf Oeffnungen stürzt sich das Wasser hinein und aus den letzten tritt es heraus. Diese natürlichen Abzüge verhindern indessen nicht vollständig die höheren Anschwellungen des Sees und so hat man schon in der frühesten Zeit zwei künstliche Entwässerungsstollen angelegt, die jedoch gegenwärtig verschüttet sind. Auch der See Phonia in Morea entbehrt eines offenen Abflusses; je nachdem der unterirdische Abzugsgraben geöffnet und vor Verstopfungen gesichert ist, oder nicht, wechselt auch der Spiegel des Sees, und zwar in solchem Maasse, dass er vor wenigen Jahren 300 Fuss höher stand, als in früherer Zeit.*)

Besonders gehört aber hierher der Zirknitzer See in Illyrien, dessen plötzliches Anschwellen und gänzliches Versiegen schon lange ein Gegenstand der Aufmerksamkeit der Physiker gewesen ist. Er liegt in einem ringsum geschlossenen Bergkessel der Krainer Alpen, ungefähr zwei Meilen östlich von der Kuppe dieses Gebirges, die unter dem Namen des Schneeberges bekannt ist.

*) Poggendorff's Annalen der Physik. Band 38, Heft 2.

Seine Ausdehnung wird verschieden angegeben, und sie mag auch, je nachdem die Ausflussöffnungen mehr oder weniger verstopft sind, nicht immer gleich gross angenommen werden können; sie scheint $1\frac{1}{2}$ bis 2 Quadratmeilen zu betragen. Das Bette und die Ufer des Sees bestehen aus Kalkfelsen, worüber im See ein starker Niederschlag aus Thon und vegetabilischer Erde sich gebildet hat. An manchen Stellen ist jedoch der Kalkboden entblösst, wo sich dann eine grosse Anzahl von kleinen Oeffnungen zeigen; ebenso befinden sich am Umfange eine Menge Höhlen, in welchen man zum Theil bis 100 Fuss herabsteigen kann. Alle diese Oeffnungen sind es nun, welche beim Anwachsen und beim Versiegen des Sees in Thätigkeit treten. Ihre Anzahl, oder vielmehr die Zahl der Hauptgruppen von Oeffnungen, beträgt zwischen 40 und 50; einige werfen Wasser aus, andere saugen es ein, und die meisten üben in den verschiedenen Zeiten beide Functionen aus. Im Allgemeinen sind es die Oeffnungen an der östlichen Seite, welche vorzugsweise Wasser ausspeien, und die an der westlichen, welche es verschlucken; bei trockner Jahreszeit fliessen auch ungefähr in dieser Richtung manche Quellen über den Boden des Sees hin. Es ist also wahrscheinlich, dass die Quellen vom Schneeberge aus gespeist werden. Das Anschwellen und Abfliessen des Sees erfolgt sehr unregelmässig; im Allgemeinen pflegt zwar der See im Frühjahre trocken zu werden, doch geschieht dieses keineswegs in jedem Jahre und oft bleibt er zwei bis drei Jahre gefüllt; von 1707 bis 1714 wurde er gar nicht trocken; in manchen Jahren füllt er sich dagegen auch gar nicht an. Eine Benutzung des Seebodens zum Ackerbau findet also nicht statt. Das Anschwellen erfolgt nie anders, als nach anhaltendem Regen, oder beim Schmelzen eines starken Schneefalles; dann füllt sich aber häufig in wenig Stunden der See an, so dass die Leute, die sich gerade darauf befinden, kaum Zeit haben, das Ufer zu erreichen. Einzelne Höhlen am Ufer werfen bei dieser Gelegenheit die grössten Wassermassen aus, aber auch die Oeffnungen am Boden werden wirksam, und es spritzen aus denselben mitunter hohe Wasserstrahlen als natürliche Fontainen hervor. Das Abfliessen des Sees erfolgt immer viel langsamer, und selbst unter günstigen Umständen nur in der Zeit von 14 Tagen. Auch hierbei sind einzelne Höhlen besonders thätig, und indem das Wasser denselben

zuströmt, führt es grosse Massen Schilf und Rohr, Baumstämme und Fischernachen und überhaupt alle schwimmenden Körper mit sich, welche sich über den Oeffnungen ablagern und dieselben verstopfen. Aus diesem Grunde scheint im Allgemeinen die Höhe der Anschwellung immer zuzunehmen, wenigstens dehnten sich die culturfähigen Aecker sonst tiefer nach dem See zu aus, als in späterer Zeit. — Die Veranlassung zu dieser merkwürdigen Erscheinung kann keine andere sein, als starke Strömungen, die unter der Erdoberfläche statt finden. Bei mässigem Zuflusse ist das unterirdische Bette der Wassermenge entsprechend; bei starken Anschwellungen dagegen verbreitet sich die Inundation bis über die Oberfläche und füllt den See an. In den Höhlen am Umfange des Sees findet man auch, wenn der See leer ist, grosse Wasserbecken und zum Theil auch fliessendes Wasser; diese unterirdischen Bassins sind mit Fischen belebt, die beim Anschwellen des Sees gleich mit in denselben treten und zu einer nicht unbedeutenden Fischerei Veranlassung geben. Von diesen unterirdischen Strömungen geben sich andere unverkennbare Spuren zu erkennen, namentlich das Einstürzen der Oberfläche, welches erfolgt, sobald die Höhlen sich zu stark verbreiten. Besonders merkwürdig ist auf der westlichen Seite des Sees nach Adelsberg zu im Kamienzwalde ein tiefer Trichter, worin der Strom auf eine kurze Strecke offen fliesst und zum Betriebe einer Sägemühle benutzt wird. Die vielen Grotten und Felsbrücken im Adelsberge verdanken diesen Strömungen gleichfalls ihre Entstehung, und ebenso werden dadurch auch die Flüsse gespeist, die in das Adriatische Meer ihren grossen Wasserreichthum ausgiessen. — Es scheint indessen, dass ein Theil der Wassermenge des Zirknitzer Sees auch nach dem Norden fliesst, denn die Laibach und andere Zuflüsse der Sau bilden sich aus sehr ergiebigen Quellen, die auf kleinen Flächen zusammengedrängt, aus dem Kalkboden hervortreten. *)

Die Orbe, welche am Fusse des Jura im Waadtlande entspringt, durchströmt den grösseren Lac de Joux und dicht unterhalb desselben den kleinern See gleiches Namens; sobald sie aus diesem heraustritt, verschwindet sie vor einem Kalkfelsen und

*) T. Gruber's Briefe hydrographischen und physikalischen Inhalts aus Krain. Wien 1781.

erscheint etwa eine halbe Stunde davon am Fusse einer nackten Felswand wieder. Die Oeffnungen, aus welchen sie hier hervorbricht, liegen 680 Fuss unter dem Spiegel jenes Sees. Der Zusammenhang beider Flüsse kann nicht zweifelhaft sein, doch gab er sich im Jahre 1776 auf eine sehr augenfällige Weise zu erkennen. Die Abzugsöffnungen hatten sich nämlich damals stark verstopft, so dass der kleinere See zum Nachtheil der umliegenden Ländereien bedeutend anschwoll; um diesen Uebelstand zu beseitigen und um eine gründliche Reinigung der Schlinggruben (hier *Entonnoirs* genannt) vorzunehmen, versuchte man den Zufluss ganz abzusperren und man durchdämmte die Orbe zwischen beiden Seen. Der grössere See schwoll indessen stark an, durchbrach den Damm und stürzte sich mit Heftigkeit in den kleinen See; bei dieser Gelegenheit zeigte sich nun das Wasser der unterhalb entspringenden Orbe, welches sonst immer klar war, stark getrübt.*)

Manche Fälle dieser Art kommen auch im nördlichen Deutschland vor: so entspringt unmittelbar in dem Weserufer, Dolme gegenüber (zwischen Holzminden und Hameln), in dem Kohlenkalksteine ein so kräftiger Bach, dass derselbe sogleich eine Mühle, die Steinmühle, treibt. Die Oeffnung des Felsens, aus welcher er hervorbricht, ist unmittelbar neben dem Mühlenrade, und das Gerinne hat nur die Länge, um ihn über das Rad zu führen.

Besonders verdienen hier aber die Quellen der Lippe und Pader in der Umgegend von Paderborn eine ausführliche Beschreibung; die folgenden Angaben über ihre Reichhaltigkeit sind die Resultate von Messungen, die ich im Sommer d. J. (1839) zu einer Zeit anstellte, wo es zwar einige Tage hindurch stark geregnet hatte, wo jedoch die Wasserstände in den Flüssen und Bächen keineswegs besonders hoch waren und nur einen mittleren Sommerwasserstand zeigten. Die Pader, die bei Neuhaus in die Lippe fällt, entspringt am Fusse der Anhöhe in Paderborn, worauf der Dom steht. Die Strassen in diesem Theile der Stadt werden etwa 6 Zoll hoch von dem Wasser inundirt, welches von beiden Seiten unter den erhöhten Trottoirs und unter den Häusern hervorbricht. So sammelt sich auf einem Flächenraume von 50 bis 60

*) Poggendorff's Annalen. Band XVI. S. 595.

Ruthen Länge und 40 Ruthen Breite eine Wassermasse, welche im Stande ist, zehn unterschlächtige neben einander liegende Mühlenräder zu treiben, von denen jedes durch andere Quellen in Bewegung gesetzt wird. Die Anzahl aller Wasserräder in Paderborn ist noch grösser, doch führe ich diejenigen nicht mit auf, welche vor oder hinter der Hauptreihe von Mühlen liegen. Das vorbrechende Wasser ist sehr klar und rein und von angenehmem Geschmack; nur nach heftigem Regen werden einige Quellen getrübt. Grosse Anschwellungen ereignen sich nie und ebenso nehmen die Quellen auch nie stark ab, der ganze Unterschied zwischen dem höchsten und niedrigsten Wasserstande scheint nur etwa 1 Fuss zu betragen. An der Neuen Brücke, dicht vor der Stadt, sind alle diese Quellen vereinigt; ich fand daselbst die Wassermenge gleich 220 Cubikfuss in der Secunde. Der auf den Charten angegebene kleine Bach, die Raute, hat sich hier noch nicht mit der Pader vereinigt; ihre Wassermenge war auch höchst unbedeutend und betrug kaum 1 Cubikfuss in der Secunde. Die erwähnten 220 Cubikfuss sind sonach die Wassermenge, die auf einem Flächenraume von kaum 16 Morgen hervorbricht.

Noch interessanter, wenn gleich viel minder reichhaltig, ist die Quelle der Lippe bei Lippspringe. Neben dem Städtchen dieses Namens erhebt sich ein Plateau, etwa 30 Fuss über den Wiesengrund, das sich nach dem westlichen Abhange des Teutoburger Waldes hinzieht, und welches dem Anscheine nach ziemlich horizontal liegt und sogar durch eine merkliche Vertiefung noch von der Anhöhe getrennt zu sein scheint. Diese erhöhte Ebene fällt neben Lippspringe steil ab, und an ihrem Rande liegt die Ruine der alten Tempelburg. Unmittelbar davor befindet sich ein Weiher, der keinen sichtbaren Zufluss hat. Er ist auf der Seite nach der Wiese durch einen niedrigen Deich eingeschlossen; seine Länge beträgt etwa 25 Ruthen und seine Breite in der Mitte kaum 5 Ruthen. In der Mitte scheint seine Tiefe sehr bedeutend zu sein, und hier treten die unterirdischen Zuflüsse hinein, welche sich theils durch die Luftblasen und theils auch dadurch zu erkennen geben, dass an der südlichen Seite alle Wasserpflanzen von der starken Strömung niedergelegt werden, während sie auf der nördlichen Seite ganz senkrecht stehen. Am südlichen Ende, wo der Weiher in einen Canal übergeht, liegt eine Mühle, die

drei unterschlächtige Räder und ein Freigerinne hat. Durch letzteres und durch das eine Mahlgerinne flossen in der Secunde 27 Cubikfuss ab.

Am Fusse desselben Plateau's, etwa 100 Ruthen davon entfernt, in nordöstlicher Richtung, entspringt ein anderer Zufluss der Lippe, der Jordan, der der Sage nach seinen Namen erhalten, als Carl der Grosse die Sachsen darin taufen liess. Unter dem üppig bewachsenen, ziemlich steilen Ufer tritt aus einem natürlichen Gewölbe von etwa 1½ Fuss Weite der eine Quell hervor und bildet gleich ein tiefes Bassin im Wiesengrunde. Aus dem Boden dieses Bassins sprudelt der zweite Quell auf, und zwar mit solcher Heftigkeit, dass er an der Oberfläche einen Wasserberg von 3 bis 6 Zoll Höhe bildet, der abwechselnd mit lautem Rauschen steigt und niederfällt. Bei der Fussbrücke, die gegen 100 Ruthen unterhalb der Quelle liegt, maass ich die Wassermenge des Jordan und fand sie gleich 19 Cubikfuss in der Secunde. Der auf den Charten angegebene Bach, der vom Lippeschen Dorfe Schlangen herkommt, ist wieder sehr unbedeutend und vereinigt sich auch erst weiter unterhalb mit der Lippe.

Fragt man nun, wo diese grossen Wassermengen herkommen, so geben die Umgegenden von Paderborn hierüber genügenden Aufschluss. Die kleinen Bäche, die man sowohl auf der Strasse nach Gesecke, als nach Lichtenau kreuzt, versiegen im Sommer vollständig, sie führen selbst nach heftigem Regen auch nicht einen Tropfen der Lippe zu, nur bei anhaltend nasser Witterung sammelt sich in ihnen Wasser an. Der in allen Richtungen mit Spalten und Klüften durchzogene Mergel, der im Süden von Paderborn ansteht, nimmt alles Regenwasser sogleich in sich auf und führt es in unterirdischen Gängen der Lippe und Pader zu. Auf dem Wege nach Lichtenau trifft man zunächst im Haxtergrunde ein Bachbette an, das jedoch im Sommer so trocken bleibt, dass auf der westlichen Seite der Chaussee zwischen den Ackerflächen gar kein Raum für den Abfluss des Wassers offen gelassen und das Thal in seiner ganzen Breite als Acker bestellt wird. Der zweite Bach, den man hier findet, ist die Sauer, die auf der Egge bei Kleinenberg in der Entfernung von 2 Meilen ihre Quellen hat; auch ihr Bette ist neben der Chaussee in den Sommermonaten ganz trocken. Verfolgt man dasselbe aber auf-

wärts, so findet man etwa 300 Ruthen weiter, bei den ersten Häusern des Dorfes Grundsteinheim, schon Wasser in dem Bache; es stürzte hier sich etwa einen halben Cubikfuss in der Secunde in eine flache Grube im Kalkboden und verschwand daselbst. Die Wassermenge, die am andern Ende des Dorfes zufliesst, ist schon viel bedeutender, und noch weiter aufwärts bei Lichtenau trieb zu derselben Zeit eben dieser Bach schon einen Mahlgang der dortigen Mühle.

Das Verschwinden dieses sehr bedeutenden Baches wird offenbar noch durch die auffallende Verlängerung seines Laufes befördert. Er entspringt, wie erwähnt, auf der Egge bei Kleinenberg und fliesst etwa zwei Meilen bis Iggenhausen vor Grundsteinheim, nordwärts in der Richtung nach Paderborn zu; hier ist jedoch das Thal nordwärts geschlossen, und es zieht sich das Bachbette ganz dem früheren Laufe entgegen 1½ Meile weit südwestlich fort, bis es bei Atteln in die Altenau fällt, die sich später in die Alme ergiesst. Der unterirdische Lauf ist also etwa um drei Meilen kürzer, als das Bachbette. — Die Alme verliert aber auch wieder einen grossen Theil ihres Wasserreichthums und speist damit die sehr reichen Quellen, die bei Gesecke den Brakenbaumer Bach bilden.

Von dem Vorhandensein der unterirdischen Wasserläufe in den Umgebungen von Paderborn geben auch die Erdfälle einen sehr sichern Beweis, und namentlich ereignen sich solche nicht selten westlich von Paderborn; man sieht neben der Strasse nach Driburg mehrere derselben, die zum Theil eingefriedigt werden mussten, um zu verhindern, dass nicht Vieh herabstürzen möchte. Auch in den nahen Steinbrüchen findet man häufig röhrenförmige Canäle, die ohne Zweifel sonst vom unterirdischen Wasser durchströmt und dabei nach und nach ziemlich regelmässig erweitert wurden.

Ich will noch einige andere ähnliche Beispiele und zum Theil von grösseren Flüssen anführen. Die Drome in der Normandie verschwindet bald nach ihrem Entstehen in einer weiten Wiese und kommt später als starker Bach wieder hervor. Dasselbe geschieht mit der Maas bei Bazailles ohnfern Beaumont. — Die Guadiana verliert sich in der Provinz La Mancha, nachdem sie schon 8 Meilen weit geflossen war und kommt erst 4 Meilen unterhalb wieder zum Vorscheine. Sehr auffallend sind auch die

unterirdischen Stromstrecken des Santa Fé und anderer kleinerer Flüsse im nördlichen Florida, wo wieder ein Kalkgebirge die Wassermassen verschluckt und sie meilenweit unterirdisch abführt.

Dass manche von diesen Wasserläufen an der Oberfläche der Erde gar nicht wieder erscheinen, sondern unmittelbar dem Meere zugeführt werden, darf nicht befremden, und es erklärt sich daraus die auffallende Erscheinung, dass hin und wieder im Ocean süsses Wasser angetroffen wird, ohne dass ein sichtbarer Strom in der Nähe mündet; so brechen im Meeresbusen von Xagua, auf der Südseite von Cuba, in der Entfernung von 2 bis 3 Seemeilen von der Küste, Quellen süssen Wassers hervor, und Buchanan fand im Indischen Meere sogar in einer Entfernung von 100 Seemeilen von der Küste von Chittagong süsses Wasser, welches vermöge des geringeren specifischen Gewichts auf die Oberfläche des Meeres trat. Ebenso bricht bei Astros in dem Meerbusen von Nauplia in der Entfernung von 300 bis 400 Meter ein starker Strom hervor, dessen Aufwirbeln und Auftreiben des Sandes man bei ruhigem Wetter sehr auffallend bemerkt, und dasselbe geschieht im Meerbusen von Spezzia, wo sich durch die Gewalt des aufsteigenden Strahles eine merkliche Erhöhung zu erkennen giebt.

Die Wassermassen, welche durch die Spalten und Fugen eines festen Gesteines abgeführt werden, treffen zuweilen an den Stellen, wo sie an die Oberfläche treten, einen so engen Ausweg, dass sie mit grosser Heftigkeit als springende Strahlen oder natürliche Springbrunnen hervorbrechen. Die Fälle dieser Art sind selten, doch bemerkt man sie zuweilen; so spritzt das Wasser am Fusse des Chatagna-Berges im Jura 13 Fuss hoch hervor, und dasselbe thut der Quell von Royat im Fontanat-Thale. Man darf sich über das seltene Vorkommen dieser Combination nicht wundern, indem durch den mechanischen Angriff, oder durch die auflösende Kraft des Wassers oder andere Einwirkungen diese Verengung nach und nach verschwindet und sonach der Quell mit der Zeit sanfter ausfliessen muss. Die neuesten Veränderungen, die wir auf der Erdoberfläche wahrnehmen, sind durch vulkanische Wirkungen veranlasst, und gerade da, wo die Spuren von solchen sich zu erkennen geben, finden sich auch vorzugsweise die seltenen Beispiele von springenden Quellen. Es mag bei dieser Gelegenheit

auch noch des Geisers auf Island Erwähnung geschehen, der, wenn man ihn einen Quell nennen darf, der interessanteste von allen bekannten Quellen der Erde ist. Er ist intermittirend, gewöhnlich fliesst er nicht, aber alle zwei Stunden bricht während einer kurzen Zeit ein Strahl heraus, der die Höhe von 20 Fuss erreicht. Die Haupteruptionen erfolgen dagegen in Zwischenzeiten von 30 Stunden; unter fürchterlichem Getöse und mit heftigen Erschütterungen begleitet steigt ein Wasserstrahl von 10 Fuss Durchmesser aus dem Boden, der bald die Höhe von 80—90 Fuss erreicht, und indem er dann wieder langsam abnimmt, nach 10 Minuten verschwindet. Die oben entwickelte Quellentheorie kann diese Erscheinung nicht mehr erklären; die hohe Temperatur des Wassers, die während der Eruption sich bis 72 und sogar bis 80 Grad steigert, zeigt auch deutlich, dass die Spannung der Wasserdämpfe hier vorzugsweise wirksam ist. Der Hecla befindet sich in der Nähe und erhitzt den Boden, so dass ringsum Dämpfe aus der Erde hervorbrechen. Auf diese Art wird denn auch der mächtige Quell, der den Geiser speist, bis zum Sieden erhitzt, und das Wasser desselben tritt wahrscheinlich in ein weites Bassin, das am untern Ende eine Oeffnung hat, durch welche bei niedrigem Wasserstande der Dampf entweichen kann. Sobald aber diese Oeffnung vom zuströmenden Wasser gesperrt wird, so sammeln sich die Dämpfe in der Höhle und werden comprimirt, dabei nimmt die Erwärmung und zugleich die Dampfentwickelung noch zu, und so steigert sich die Spannung, bis endlich das Wasser genau in derselben Art herausgedrängt wird, wie der Kessel einer Dampfmaschine von niederm Drucke sich bei zu starker Spannung durch das Speiserohr entleert, und dabei tritt auch keine allmälige Ausgleichung ein, sondern in dem Maasse, wie bei der Entleerung des Kessels die Dampfbildung sich steigert, so erfolgt auch der Ausfluss des Wassers mit zunehmender Heftigkeit. *)

Intermittirende Quellen, oder solche, die in gewissen kurzen Perioden abwechselnd fliessen und versiegen, kommen auch in andern Formationen, jedoch gleichfalls nur sehr selten vor. Bei Como, sodann neben der Abtei Haute Combe in Savoyen und bei

*) Karsten's Archiv für Mineralogie etc. Band IX.

Puis Gros in der Nähe von Chambery giebt es dergleichen, und die Periode, welche bei den einzelnen Quellen ziemlich constant ist, beträgt 30 Minuten bis mehrere Stunden. Auch bei Altenbecken ohnfern Paderborn soll vor einem halben Jahrhunderte der Quell intermittirend geflossen sein. — Diese Erscheinung lässt sich unter der Voraussetzung eines unterirdischen Bassins erklären, das bei gleichförmigem Zuflusse sich durch einen heberförmigen Abzugscanal entleert.

§. 8.

Brunnen mit weiten Kesseln.

Es ergiebt sich aus dem Vorhergehenden, wie das Hervortreten der Quellen an der Erdoberfläche theils von der relativen Höhenlage und theils von der Formation des Bodens abhängt. An vielen Stellen wird die Oberfläche wasserarm sein, obgleich Wassermassen ebendaselbst unterirdisch sich bewegen; um diese an einem beliebigen Punkte nutzbar zu machen und sie in einem zugänglichen Reservoir anzusammeln, dienen die Brunnen. Aber auch selbst da, wo natürliche Quellen hervorbrechen, ist ein Auffangen derselben und eine Abschliessung des unreinen Tagewassers gemeinhin nothwendig; daher kommen auch in dem letzten Falle Anlagen vor, welche den Brunnen sehr ähnlich sind und sich nur durch die geringere Tiefe davon unterscheiden. Von beiden soll hier die Rede sein, doch werde ich die Artesischen Brunnen besonders behandeln, indem wegen der geringen Weite und grossen Tiefe derselben ihre Ausführung nach ganz abweichenden Methoden erfolgt.

Es ereignet sich häufig, und dieses ist in sandigen Gegenden sogar der gewöhnliche Fall, dass die wasserhaltende Schicht durch keine undurchdringliche bedeckt ist, sondern sie sich bis zur Erdoberfläche erstreckt; indem sie aber nicht vollständig gesättigt ist, so dringt kein Wasser von selbst hervor, und man muss bis zu einer gewissen Tiefe herabgehen, bevor man das sogenannte Grundwasser erreicht, oder bevor im Brunnenkessel sich Wasser ansammelt. Das Grundwasser steht in der Regel nicht viel höher, als das Niveau der Flüsse und Seen in der nächsten Umgebung, und es findet sonach in den wasserhaltenden Schichten

nicht sowohl ein merkliches Strömen, als vielmehr nur eine Ansammlung von stagnirendem Wasser statt. Daraus erklären sich manche Erscheinungen, die bei Brunnenanlagen unter diesen Verhältnissen sich zu zeigen pflegen; so das Anwachsen des Grundwassers beim Anschwellen der Ströme, doch nicht sowohl gleichzeitig, als vielmehr nach Maassgabe der Entfernung um mehrere Tage später. In Berlin pflegt das Wasser in die Keller zu treten, wenn die Spree schon merklich fällt.

Bei einem minder durchdringlichen Boden und auf einem festen Untergrunde erreicht das Grundwasser häufig eine bedeutende Höhe im Vergleiche zum Niveau der daneben befindlichen Flüsse. So giebt es in den Vorstädten von Paris, die grossentheils weit über dem Spiegel der Seine liegen, sehr viele Brunnen, und diese sammeln nur das Tagewasser, welches eben wegen des undurchdringlichen Untergrundes sich nicht tiefer einziehen kann. Auch die eigentliche Stadt hatte zur Zeit Franz I. eine Menge gewöhnliche Brunnen, die reichliches und gutes Wasser gaben; seitdem aber alle freien Plätze und Höfe und Gärten verschwunden und die Strassen viel dichter an einander gelegt sind, und endlich alle Räume, die noch unbebaut blieben, gepflastert wurden, so kann der Regen sich nicht mehr in den Boden ziehen, und er fliesst durch die Rinnen ab, und seitdem sind die Brunnen versiegt. Ganz dasselbe ist auch in London seit dem Anfange des vorigen Jahrhunderts der Fall. In Paris tritt indessen zuweilen noch eine andere sehr auffallende Erscheinung ein: ganz unabhängig von dem Stande der Seine und weit über dem Spiegel derselben wächst nämlich in unregelmässigen Perioden durchschnittlich etwa alle 30 Jahre einmal das Grundwasser so an, dass die Keller in einzelnen Stadttheilen sich mit Wasser anfüllen. Die Erfahrung, dass wenigstens zwei sehr nasse Jahre einer solchen unterirdischen Inundation vorangehen müssen, erklärt ihren Ursprung; die obere Schicht, welche nämlich in früherer Zeit die Brunnen speiste, erhält jetzt zwar durch das unmittelbar darauffallende Wasser keine starken Zuflüsse mehr, aber sie steht mit andern höher liegenden Gegenden in Verbindung, und wenn diese sehr durchnässt sind, was selten geschieht, so fliessen sie in jene über.*)

*) *Girard, sur les inondations souterrains de Paris.* Paris 1818.

Wie langsam sich das Wasser im Sande bewegt, giebt sich nicht nur dadurch zu erkennen, dass manche Quellen erst geraume Zeit nach einem Regen stärker fliessen, indem sie wegen des langen und beschränkten unterirdischen Laufes ihre Zuflüsse erst nach Wochen und selbst nach Monaten wieder an die Erdoberfläche fördern; es zeigt sich auch an vielen Erscheinungen, die man bei Brunnen im sandigen Boden wahrnimmt. So geschieht es bei einem neuangelegten Brunnen, dass oft Monate und Jahre vergehen, bevor der Sand in seiner nächsten Umgebung rein ausgewaschen ist, oder er reines Wasser giebt; besonders auffallend ist aber die folgende Erfahrung. Ein Fabrikant in der Vorstadt St. Marceau in Paris wollte das heisse Wasser, welches der Condensator der Dampfmaschine lieferte, ohne Kosten entfernen, und leitete es daher in einen Brunnen seines Hofes, worin der Wasserstand tief genug war, um kein Ueberströmen befürchten zu lassen. Einige Monate hindurch schien diese Einrichtung auch keinen Nachtheil zur Folge zu haben, doch später bemerkten die Nachbarn, dass die Temperatur ihrer Brunnen allmälig zunahm und sie dadurch zu vielen Zwecken unbrauchbar wurden. Auf die deshalb erhobene Beschwerde wurde dem Fabrikanten die fernere Ableitung des warmen Wassers in den Brunnen untersagt, es vergingen jedoch nicht weniger, als achtzehn Monate, ehe die Brunnen in der Nachbarschaft die frühere Temperatur wieder annahmen. *)

Die meisten Quellen, welche unsere Brunnen speisen, werden in Sand- oder Kiesboden gefunden, und selbst da, wo sie aus festem Gesteine kommen, hat sich gewöhnlich eine starke Kiesschicht darüber gelagert, insofern an den tiefen Stellen, wo die Quellen hervortreten, das Tagewasser leicht feine Erdtheilchen und Steinbrocken hinführt, von denen die erstern durch das durchströmende Quellwasser entfernt werden, die letztern aber liegen bleiben und sich mit weiten Zwischenräumen, oder in Form von Triebsand ablagern. Dieser Umstand ist für das Austreten von Quellwasser sehr günstig, aber er bedingt eine sichere Umschliessung der Seitenwände, damit nicht immer neue Sand- und Erdmassen hineinstürzen, was bei dem aufgelockerten Boden sehr

*) *Annales des ponts et chaussées.* 1833. II. p. 333.

leicht geschieht. Es kommt daher bei einer Brunnenanlage nur darauf an, die Oeffnung bis zur wasserführenden Schicht darzustellen und die Seitenwände gegen das Einstürzen zu sichern. Das Erste geschieht gemeinhin durch einfaches Aufgraben; ein Aufbohren des Grundes findet bei gewöhnlichen Brunnen nur dann statt, wenn der Brunnenkessel versenkt wird.

Um zu erfahren, wo die wasserhaltenden Schichten in der geringsten Tiefe vorkommen und wo man sonach mit den wenigsten Kosten den Brunnen ausführen kann, dazu sind manche Regeln vorgeschlagen, welche sich ausser einer gewiss sehr zweckmässigen Untersuchung der geognostischen Verhältnisse des Bodens besonders auf die Ermittelung der Feuchtigkeit beziehen; und zu dem letzten Zwecke kann theils die unmittelbare Prüfung des Grundes, theils die Beobachtung der Vegetation führen. Auf den letzten Umstand legte Elckingston ein besonderes Gewicht, und das Vorkommen von Binsen und andern Sumpfpflanzen liess ihn oft sehr richtig die Stelle erkennen, wo die wasserhaltende Schicht am nächsten der Erdoberfläche war. Es versteht sich indessen von selbst, dass eine Untersuchung dieser Art nur da nöthig ist, wo man merkliche Aenderungen in der Tiefe der Quelle erwarten darf; bei den fast horizontalen Schichten, wie sie im aufgeschwemmten Boden vorzukommen pflegen, wird man es nur vermeiden müssen, die Brunnen auf besonders hochliegenden Stellen auszuführen, im Uebrigen aber kann man voraussetzen, dass ein Punkt vor einem andern in der Nähe liegenden keine grossen Vorzüge haben wird, und sonach sind es hauptsächlich wirthschaftliche Rücksichten, welche innerhalb solcher Grenzen die Stellung des Brunnens bedingen.

Die einfachsten Brunnenanlagen pflegen diejenigen zu sein, wodurch Quellen, die von selbst hervorbrechen, eingefasst werden. Die Sand- oder Kiesschicht bildet in diesem Falle schon die Oberfläche und ein tiefes Aufgraben ist daher ganz überflüssig; es kommt nur darauf an, so weit herabzugehen und den Grund auszuheben, dass das Wasser sich hinreichend tief ansammelt, um es bequem ausschöpfen zu können; die Umschliessung zur Seite braucht auch nicht viel tiefer herabzureichen, während sie andererseits sich etwas über den Boden erheben muss. Auch darf ein gehörig befestigter Seitenabfluss nicht fehlen, damit das

Erdreich umher nicht zu stark erweicht wird. Wenn Quellen dieser Art Röhrenleitungen speisen, so muss einer Verunreinigung mit grösserer Vorsicht vorgebeugt werden und man pflegt in diesem Falle die Brunnen zu überwölben. Gewöhnlich erhalten sie dann aber auch einen grösseren Querschnitt, damit ein bedeutender Wasservorrath sich darin ansammeln kann; das Gewölbe hat aber auch den Zweck, die Kälte abzuhalten und ein mögliches Einfrieren zu verhindern, weshalb man häufig noch eine starke Erdlage darüber schüttet. Auch Vorrichtungen zum Filtriren und Klären des Wassers werden nicht selten schon in dem Brunnenhäuschen angebracht, von beiden wird später bei Gelegenheit der Wasserleitungen die Rede sein, und hier darf nur bemerkt werden, dass eine Klärung zum Theil schon dadurch erreicht wird, dass man das Wasser in einiger Höhe über der Sohle ableitet.

Endlich ist in Bezug auf das Auffangen natürlicher Quellen noch zu bemerken, dass dieselben häufig stark vertheilt sind, indem die wasserhaltende Schicht in einer grösseren Ausdehnung und in gleicher Höhe die Erdoberfläche trifft. Um in diesem Falle die ganze Wassermenge abzufangen, ist eine grosse Anzahl neben einander liegender Brunnen nothwendig, wofür man gewöhnlich einen unterirdischen Kanal zu wählen pflegt; ein solcher schneidet die sämmtlichen Wasserläufe, und damit er dieselben mit Leichtigkeit aufnehmen kann, wird die ganze Seitenmauer, die ihn auf der Bergseite begränzt, von wo das Wasser herkommt, aus trocknem Mauerwerk mit weitgeöffneten Fugen ausgeführt. Hierbei kann es jedoch nicht fehlen, dass Erd- und Sandtheilchen mit hineindringen, und man muss, um diese wieder auszuscheiden, Schlammfänge anordnen, was bei den von unten hervorsprudelnden Quellen gemeinhin nicht erforderlich ist. Besorgt man aber, dass das Wasser sich wieder in den Boden einziehen und nach der Thalseite abfliessen möchte, so muss durch einen festen Lehmschlag, wie er in ähnlichen Fällen bei Schiffahrtscanälen angewendet wird, der Boden und die Wände des Grabens gedichtet werden.

Als Beispiel solcher weit ausgedehnten Leitungen, wodurch die einzelnen sehr vertheilten Wasseradern aufgefangen werden, können die Tunnels angeführt werden, die sich unter Liverpool hinziehen, um daselbst die Quellen aufzufangen, die nachher die Wasserleitungen von Liverpool speisen. Die Stadt liegt am hohen

Ufer des Mersey, welches aus buntem Sandsteine besteht; es entspringen darin nicht reichhaltige Quellen, sondern nur in sehr kleinen Massen sickert das Wasser aus dem Gestein hervor; um diese möglichst rein aufzufangen und zugleich um ihr Eintreten in den Mersey zu verhindern, sind Stollen oder Tunnels in der Länge von 100 bis 250 Fuss in den Berg gebrochen, die das aufgefangene Wasser den Bassins zuführen, wo Dampfmaschinen es schöpfen und in die Speisebassins der Röhrenleitung heben.

Je tiefer die wasserhaltenden Schichten liegen, um so schwieriger wird die Ausführung der Brunnen; ist der Sand und Kies mit Thon- oder Lehmboden bedeckt, so wird durch unmittelbares Aufgraben der Quell eröffnet. Nach Maassgabe der Tiefe der Grube muss man dieselbe oben erweitern, auch wohl Absteifungen vornehmen, um das Einstürzen der Wände während des Baues zu verhindern. Das Ausgraben selbst wird bei einem Boden der erwähnten Art gewöhnlich durch keinen starken Wasserzudrang erschwert, indem man nur so tief zu graben braucht, bis sich das Wasser zeigt; sobald man aber die Kiesschicht erreicht, füllt sich die Grube und zuweilen mit grosser Heftigkeit. Aus der Geschwindigkeit, womit das Wasser aufsteigt, und zum Theil auch aus der Höhe, die es erreicht, kann man auf die Reichhaltigkeit des eröffneten Quells schliessen und darnach beurtheilen, ob man mit demselben sich begnügen darf, oder ob man noch tiefer herabgehen muss. Das Letzte würde auch noch geschehen müssen, wenn das Wasser auffallend unrein wäre, und in diesem Falle träte die Schwierigkeit ein, dass die weitere Ausgrabung unter einem starken Zudrange von Wasser erfolgen müsste, auch wäre dann bei der Aufführung des Brunnenkessels darauf Rücksicht zu nehmen, dass derselbe wasserdicht sein müsste, um das Eintreten dieses obern Quells zu verhindern. Dieser Umstand kommt jedoch bei gewöhnlichen Brunnen in aufgeschwemmtem Boden nicht leicht in Betracht, indem das in grösserer Tiefe durch den Sand filtrirende Wasser ziemlich rein ist, oder man wenigstens erwarten kann, dass es mit der Zeit an Reinheit gewinnen wird.

Hat man nun die Grube so tief herabgeführt, dass eine weitere Vertiefung überflüssig erscheint, so muss die Einfassung derselben dargestellt werden, und diese Arbeit wird namentlich anfangs durch den starken Wasserzudrang sehr erschwert. Durch

Schöpfmaschinen und gewöhnlich durch blosses Ausschöpfen mit Eimern und Aufwinden derselben senkt man den Wasserspiegel so, dass die Sohle der Grube wenigstens nicht tief unter demselben liegt; dieses Verfahren pflegt schon zum Ziele zu führen, namentlich da der starke Zudrang des Wassers sich bald etwas mässigt. Es ist nämlich die aufgeschlossene Schicht ganz mit Wasser gesättigt, sobald sie aber ihren Wasserreichthum, den sie ursprünglich enthielt, zur ersten Füllung des Brunnens abgegeben hat, so fliesst das Wasser aus den entfernten Theilen der Schicht minder schnell zu, und sonach pflegt die Reichhaltigkeit der Quellen gerade bei ihrer ersten Eröffnung am stärksten zu sein.

Wenn die Brunnen nur mit Holz eingefasst werden sollen, was wegen der geringen Dauer wenig zu empfehlen ist, so pflegt man gemeinhin aus Halbholz viereckige Brunnenkränze übereinander zu verlegen und dieselben nur durch Anstampfen der Hinterfüllungserde in ihrer Lage zu sichern. In manchen Gegenden stellt man auch Eckständer in die Brunnengrube, spreizt dieselben durch zwischengeschobene und leicht befestigte Riegel auseinander und verzapft sie oben in Rahmstücken, welche den obern Theil der Brunneneinfassung bilden. Gegen die Ständer werden dann von aussen Bohlenstücke gelehnt, die wenigstens unten keine andere Befestigung als wieder nur die Hinterfüllungserde erhalten. Diese Constructionsart, die freilich bei der Ausführung manche Bequemlichkeit bietet, hat den grossen Nachtheil, dass vorkommende Reparaturen viel schwieriger, als bei Anwendung der Brunnenkränze auszuführen sind; indem nämlich das Holz in der Entfernung von einigen Fuss über dem Wasserspiegel am ersten schadhaft zu werden pflegt, so ist eine Erneuung der untersten Brunnenkränze nicht leicht erforderlich und man braucht nur die über Wasser liegenden von Zeit zu Zeit durch neue zu ersetzen. Bei der letzten Construction wird es dagegen nöthig, sobald die Ständer schadhaft geworden sind, alles Holzwerk bis zur Sohle des Brunnens herauszunehmen.

Sehr viel dauerhafter sind die massiven Brunnenkessel, die man in cylindrischer Form auszuführen pflegt. Man fundirt sie gemeinhin auf einen starken hölzernen Brunnenkranz, der in den Ecken noch mit eingezapften Eckstücken versehen ist, damit das cylindrische Mauerwerk wirklich überall aufsteht. Recht hart

gebrannte Steine sind hierbei vorzugsweise nöthig; sie müssen aber eine der Weite des Brunnens entsprechende conische Form haben, damit die Fugen nach aussen nicht klaffen, wodurch augenscheinlich die Solidität leiden würde. Eine solche Gestalt lässt sich indessen durch blosses Zuhauen nicht geben, da jeder einzelne Stein sonst in dieser Art behauen werden müsste, und man streicht sie daher schon in besonderen Formen; sie sind unter dem Namen der Brunnensteine bekannt. Dergleichen Brunnenkessel werden in Mörtel und einen Stein stark aufgeführt. — Dass Brunnen aus festen Hausteinen gleichfalls sehr solide und dauerhaft sind, bedarf kaum der Erwähnung, doch beschränkt die grosse Kostbarkeit dieses Materials die Anwendung desselben gemeinhin nur auf die obere Einfassung. — Es giebt endlich auch eine grosse Menge und zum Theil sehr tiefer Brunnen, die aus Bruchsteinen ausgeführt sind. Namentlich existiren viele dergleichen aus früherer Zeit und sie sind gewöhnlich aus Granit, also aus einer Felsart, die wenig lagerhaft bricht, erbaut worden; dagegen verdanken sie ihre lange Erhaltung zum Theil der sehr bedeutenden Mauerstärke.

Bei einem Boden, der in geringer Tiefe schon von Wasser stark durchzogen ist, wird die Ausführung tiefer Brunnen in der erwähnten Art unmöglich, indem der Wasserzudrang, der sich gleich Anfangs darstellt, schon so stark werden kann, dass er selbst durch kräftige Schöpfmaschinen nicht zu beseitigen ist, und es tritt alsdann noch die neue Schwierigkeit ein, dass die Zuflüsse von der Seite den Einsturz der Wände zur Folge haben. Silberschlag erzählt in seiner Hydrotechnik, wie bei einem Brunnen, den er in feinem Sande unter das Niveau eines in der Nähe befindlichen Flusses herabführen wollte, das Ausheben des Sandes beinahe gar keine Vertiefung des Brunnens zur Folge hatte, indem die einbrechenden Quellen theils durch Auflockern des Grundes und theils durch Einstürzen der Seitenwände die Grube immer aufs Neue anfüllten; diese Uebelstände wurden jedoch sogleich beseitigt, und eine Vertiefung nach Maassgabe der ausgebrachten Erdmassen erfolgte wirklich, als Silberschlag dem Hervordringen der Quellen dadurch vorbeugte, dass er in die Grube reichlich Wasser hineingiessen liess. Dieses Mittel setzt aber immer noch ein Arbeiten unter Wasser voraus, und man wird daher bei An-

wendung desselben nicht leicht weiter, als einige Fuss tief unter das Grundwasser herabkommen können, indem weiterhin das Verlegen der Brunnenkränze nicht mehr mit der nöthigen Sorgfalt erfolgen kann.

In Fällen dieser Art finden die Senkbrunnen ihre eigentliche Anwendung: man gräbt bis zum Grundwasser, legt dann einen wohlverbundenen hölzernen Brunnenkranz und führt über demselben den massiven Brunnenkessel bis zu einer solchen Höhe auf, dass derselbe hinreichend schwer wird, um ein leichtes Einsinken zuzulassen, ohne jedoch durch eine grosse Höhe das Herausschaffen des ausgehobenen Sandes zu sehr zu erschweren. Sodann wird mittels des Sackbohrers der Brunnen vertieft, und da das zudringende Wasser auch hier den Grund auflockert, so fängt der Brunnenkessel an, sich langsam zu senken und man kann durch wiederholtes Aufmauern desselben ihn bis zu grossen Tiefen herabführen. Der Vortheil dieses Verfahrens besteht darin, dass man weit unter das Grundwasser herabgehen kann, ohne ein Ausschöpfen vornehmen zu dürfen; es bleibt dabei aber Bedingung, dass der Boden leichter Sandboden und vom Wasser stark durchzogen sein muss, denn sobald keine Auflockerung desselben unter dem Brunnenkessel erfolgt, so sinkt letzterer auch nicht herab. Vor wenigen Jahren sah ich das Missglücken eines solchen Brunnens in dem fetten Marschboden an der untern Weser; trotz der grossen und weiten Vertiefung, die man am Boden vornahm, erfolgte keine Senkung des Brunnenkessels, derselbe blieb vielmehr in der Oberfläche stecken.

Fig. 7 zeigt das Verfahren und die Zusammenstellung der Apparate, deren man sich bei der Ausführung der Senkbrunnen zu bedienen pflegt; der hölzerne Brunnenkranz *A* besteht aus doppelten, übereinander genagelten Bohlenstücken, mit gehöriger Versetzung der Fugen, wie ihn Fig. 8 in perspectivischer Ansicht darstellt. Dieser Kranz muss in seiner Breite genau mit der Länge der Brunnensteine übereinstimmen, damit er weder von innen, noch von aussen vor der Mauer vorsteht; seine Stärke und die Anzahl der Felgenstücke, woraus er zusammengesetzt ist, richtet sich nach der lichten Weite, die der Brunnen erhalten soll; beträgt dieselbe, wie hier angenommen ist, $3\frac{1}{2}$ Fuss, so können die einzelnen Felgen noch einen Quadranten umfassen und brauchen

nur $1\frac{1}{2}$ Zoll stark zu sein. Der Brunnenkessel *B* wird aus den bereits erwähnten keilförmigen Brunnensteinen in gehörigem Verbande in gutem Mörtel ausgeführt, und vortheilhaft ist es immer, hydraulischen Mörtel anzuwenden, indem sonst die Austrocknung nicht sobald erfolgt und daher der Zusammenhang des Mauerwerks während des Versenkens höchst unbedeutend ist. Auf dem Brunnenkessel muss eine Rüstung angebracht werden, damit die Arbeiter den Bohrer gehörig einstellen und drehen können; man pflegt diese Rüstung auch noch durch Aufpackung von Steinen zu beschweren, wie dieses die Figur zeigt.

Der Bohrer, der in Fig. 9 in grösserem Maassstabe abgebildet ist, besteht theils aus einem weit vortretenden starken eisernen Dorne und theils aus einem seitwärts angebrachten Bügel, woran ein leinener Sack befestigt ist; der erstere dringt leicht in den Boden ein und bildet dann den untern Stützpunkt der Axe, um welche bei eintretender Drehung der Bügel sich bewegen muss. Der Bügel, der häufig nur durch Schraubenbolzen befestigt wird, ist mit einer Schneide versehen, damit er den Sand leicht durchdringen kann, und zwar befindet sich dieselbe am äussern Rande des Bügels, damit der nachfolgende Theil, woran der Sack befestigt ist, keinen Widerstand und Reibung mehr erfährt. Der Sack hat eine solche Grösse, dass er nahe einen Cubikfuss fassen kann, doch wird er gewöhnlich noch nicht halb gefüllt herausgebracht. Am obern Theile des Bügels befindet sich ein Ring, der mit einem Wirbel versehen ist, und an diesem wird das Tau zum Herausheben des gefüllten Bohrers befestigt. Der Wirbel ist dabei insofern nothwendig, als sonst das Tau beim Bohren immer in eine Richtung gedreht werden und daher Knoten schlagen würde. Der Hebel, wodurch die Drehung erfolgt, hat wegen der beschränkten Grösse des Gerüstes meist nur eine Länge von etwa 3 Fuss und er wird nur durch ein Tau gegen den Stiel des Bohrers befestigt. Die Manipulation des Bohrers ist hiernach von selbst klar: nachdem der Bohrer herabgelassen und der Hebel in der gehörigen Höhe befestigt ist, fassen zwei Arbeiter an den letztern und drehen den Bohrer langsam in solcher Richtung um, dass die Schneide des Bügels wirken kann; sie gehen dabei auf dem Gerüste im Kreise herum und sind zugleich bemüht, durch Herabdrücken des Hebels ein scharfes Eingreifen des Bohrers

zu bewirken. Nach einigen Umdrehungen, deren Anzahl sich nach der Festigkeit des Bodens richtet, wird das Tau, woran der Bohrer befestigt ist, in Ordnung gebracht, so dass es nicht mehr um den Stiel geschlungen ist; dann zieht der eine Arbeiter das andere Ende dieses Taues an und hebt dadurch mittels der festen Rolle den Bohrer heraus, während der andere Arbeiter den Stiel hält und den Bohrer führt und umstürzt, worauf das Einstellen von Neuem erfolgt.

Eine grosse Vorsicht ist dabei nothwendig, um ein möglichst lothrechtes Versenken des Brunnens zu bewirken; denn sonst würde die Mauer auf einer Seite einen grossen Theil des obern Gewichts zu tragen bekommen und dann brechen. Durch häufiges Ablothen des freistehenden Theiles muss man sich überzeugen, dass der Brunnen wirklich noch eine senkrechte Stellung hat, und sobald man merkt, dass diese nicht mehr statt findet, so muss man den Bohrer auch nicht mehr in die Mitte des Brunnens stellen, sondern näher an diejenige Seite, wo die Senkung am wenigsten erfolgt ist. — Um aber dem obern Theile die nöthige Festigkeit zu geben, dass er bei der ziemlich ungleichmässigen Belastung durch das darauf ruhende Gerüste nicht bricht, so hat man die Gewohnheit, Brettstücke herumzustellen, die durch umgeschlungene und geknebelte Taue und noch besser durch umgelegte Ketten und zwischengeschlagene Holzkeile (wodurch sich eine sehr feste Spannung leicht geben lässt) gehalten werden. Man kann Brunnen dieser Art auch in grösseren Dimensionen, als den beispielsweise gewählten, ausführen, ohne dass in dem Verfahren eine wesentliche Aenderung eintritt. Brunnen von 6 Fuss Weite lassen sich noch mit grosser Sicherheit senken, selbst von 12 Fuss Weite hat man sie mit der Wandstärke von einem Steine ausgeführt, doch ist dann schon eine grosse Vorsicht nöthig, dass der Sand möglichst gleichmässig ausgehoben wird. Trifft es sich aber, dass der Brunnenkessel bricht und theilweise einstürzt, so muss der ganze Bau nicht nur aufs Neue angefangen werden, sondern es ist auch alles Material, welches bereits unter das Grundwasser gesunken ist, verloren und (was oft besonders unangenehm ist) es muss alsdann eine andere Baustelle gewählt werden, indem die alte wegen des darin steckenden Mauerwerks und Materials zu sehr verunreinigt ist.

Der grösste Brunnenkessel, der je versenkt wurde, ist der Schacht, der den Zugang zum Themse-Tunnel in London auf der Südseite bildet. Der sehr bedeutenden Dimensionen unerachtet, ist die Senkung bis auf 37 Fuss Tiefe ganz regelmässig und ohne Beschädigung des Mauerwerks erfolgt; es wird daher von Interesse sein, die dabei in Anwendung gebrachten Methoden und Vorsichtsmassregeln kennen zu lernen. Ich entnehme diese Notizen aus manchen Mittheilungen aus englischen Zeitschriften und aus dem Aufsatze von Bazaine *); sie stimmen in den Specialien nicht mit den Nachrichten überein, die deutsche Zeitschriften hierüber enthalten, doch geben die letztern grossentheils nur im Allgemeinen das Verfahren an, ohne dasselbe ins Einzelne zu verfolgen. Dieser Schacht, von welchem aus nicht nur die Ausführung des Tunnels geschehen ist, sondern der auch die Bestimmung hat, in Zukunft den Zugang für Fussgänger zu bilden, ist 61 engl. Fuss tief unter die Erdoberfläche herabgeführt **); da aber noch eine Anschüttung von 3 Fuss erfolgen musste, so beträgt seine ganze Höhe 64 Fuss. Seine lichte Weite misst 50 Fuss und die Mauerstärke ist 3 Fuss. Der Grund, in welchem man arbeitete, war auf 36 Fuss Tiefe sandig und stark vom Wasser durchzogen; von hier ab dagegen fand sich ein fester Klaiboden ohne starke Wasseradern, der jedoch in grösserer Tiefe minder günstig ausfiel. Bis zum festen Klaiboden musste der Schacht als gewöhnlicher Senkbrunnen ausgeführt werden, und man gab ihm zu diesem Zwecke sogleich die Höhe von 40 Fuss; damit aber während der Aufmauerung dieses thurmähnlichen Gebäudes sich nicht schon eine Senkung zeigen möchte, welche eine genaue Arbeit sehr erschwert haben würde, so machte man den Anfang damit, eine Art von Pfahlrost zu schlagen, jedoch durften die Pfähle nicht unter dem Mauerwerke selbst stehen, weil sie sonst nicht zu entfernen gewesen sein würden, sondern sie bildeten vielmehr einen Ring, der dem äussern Umfange der Mauer sich anschloss; die Anzahl der Pfähle betrug 24. Die Rostschwellen, deren Anzahl

*) *Annales des ponts et chaussées.* 1833. II. *p.* 345 ff.

**) Die Dimensionen gebe ich hier in englischem Maasse an, welches, da es etwas kleiner als das preussische ist, sich genau genug in dieses verwandelt, wenn man 3 Procent abzieht.

der der Pfähle gleich kam, lagen in der Richtung der Radien, und da die Last unmittelbar neben den Pfählen angebracht wurde, so gewährte der Boden schon an sich den Schwellen an ihrem andern Ende eine hinreichende Unterstützung.

Indem der Schacht durch Ausgraben im Innern gesenkt werden sollte, so kam es darauf an, die Erde, die unter dem Mauerwerk selbst sich befindet, nach innen zu drängen, nicht aber nach aussen, weil sonst eine Compression daselbst leicht entstehen konnte, die das weitere Herabtreiben des Schachtes bedeutend erschwert haben würde. Zu diesem Zwecke wurde auf dem beschriebenen Rost zunächst ein grosser eiserner Ring von 4 Fuss Höhe aufgestellt, der sich an den äussern Umfang der Mauer anschloss. Er bestand aus 48 Segmenten, und diese waren durch Laschen, die vom untern Rand auf der innern Seite 3 Fuss hoch heraufgehen, unter sich zusammengeschroben. Die Laschen, die wie Kragsteine an der innern Seite vorstehen, bildeten das Auflager für einen hölzernen 3 Fuss breiten und 1 Fuss hohen Ring und waren mit diesem durch eingebrachte Schraubenbolzen verbunden. Der hölzerne Ring bestand aber aus zwei nebeneinanderliegenden krummgewachsenen starken eichenen Balken, die bei gehöriger Abwechselung der Fugen unter sich wieder durch Schraubenbolzen sehr solide verbunden wurden. Auf diese Verschwellung wurde nun der Kessel des Schachtes aufgeführt, und um das Mauerwerk desselben zu verstärken, gingen an dem hölzernen Ringe 48 schmiedeeiserne Schraubenbolzen herauf, von 2 Zoll Stärke, welche in Stücken von 6 Fuss Länge beim Aufführen der Mauer nach und nach zusammengeschroben und so bis zur Höhe von 40 Fuss heraufgeführt wurden. Diese Bolzen waren aber in Holz gefasst, damit sie beim späteren Anziehen nicht etwa das Mauerwerk beschädigen möchten.

Das Mauerwerk wurde nun aus gut gebrannten Steinen mit Mörtel aus Roman-Cement ausgeführt; der erwähnte hölzerne Kreis bildete anfangs eine Lehre, und um ähnliche Lehren auch für grössere Höhen darzustellen, wurden 26 Stück schmale Ringe aus dünnen hölzernen Brettstücken, in Abständen von $1\frac{1}{2}$ Fuss von einander und mit der äusseren Mauerfläche bündig, verlegt und mit vermauert. Nachdem auf diese Weise der Thurm die Höhe von 40 Fuss erreicht hatte, wurde er wieder durch einen

in sich verbundenen Ring aus gusseisernen Platten bedeckt, durch den die Schraubenbolzen hindurchreichten. Man brachte die Muttern auf und stellte durch festes Anziehen derselben einen innigern Zusammenhang dieses obern Ringes mit dem untern und sonach der ganzen Mauermasse dar.

Am 2. März 1825 war der Bau begonnen, und etwa in drei Wochen bis zu dem erwähnten Punkte gediehen. Man liess darauf noch etwas über eine Woche vergehen, damit der Mörtel gehörig erhärten konnte, und am 1. April wurde mit der Versenkung der Anfang gemacht. Der Kreis von Pfählen hatte bisher den Bau vollständig getragen, ohne nachzugeben; man fing nun an, je zwei und zwei gegenüberstehende Pfähle etwas tiefer einzurammen, so dass man die Rostschwellen daselbst fortschieben konnte. Auf solche Art waren von den 24 Stützpunkten 16 entfernt worden, und die übrigbleibenden acht, die noch gleichmässig vertheilt waren, genügten nicht mehr, den Mauercylinder zu tragen; sie wurden vielmehr nach und nach tiefer eingedrückt. In den Zwischenräumen brachte man sogleich Kiesschüttungen an, die bis zum hölzernen Ringe heraufreichten und möglichst fest angestampft wurden, so dass sie bald den Bau trugen und ein merkliches Einsinken nicht weiter erfolgte. Nun schnitt man die noch übriggebliebenen acht Schwellen durch und grub sie aus. Die Pfähle, die sämmtlich stecken blieben, hinderten das Sinken des Schachtes nicht mehr und konnten möglicher Weise sogar als Leitpfähle dienen.

Jetzt stand der Bau ohne weitere Unterstützung auf dem Erdboden; man brachte eine Rüstung darüber an und stellte auf diese eine Dampfmaschine von 36 Pferdekräften nebst Feuerungsanlage und allem Zubehör und verband sie mit einer Eimerkette, ähnlich den Baggermaschinen, wovon weiterhin die Rede sein wird. Die Eimer schöpften aus einer Grube, die in der Mitte des Bodens durch Graben eröffnet wurde, das Wasser, und die ausgegrabene Erde wurde durch die ringsum vertheilten Arbeiter in die Eimer hineingeworfen. Indem die letztern oben umstürzten, so waren sie beim Wiedererscheinen am Boden leer und wurden dann aufs Neue gefüllt. Der Wasserzudrang war mitunter so stark, dass die Maschine grossentheils nur Wasser zu heben hatte und daher die Arbeit langsam vorschritt; auch überzeugte man sich, dass

die getroffenen Vorsichtsmassregeln nicht unnütz waren, sondern dass man vielmehr ohne dieselben gar nicht bis zur nöthigen Tiefe herabgekommen wäre, sowie ein gleiches Unternehmen früher schon wegen des stärkeren Wasserzudranges beim Abteufen des Schachtes gescheitert war. Auch die Befestigung des Mauerwerks zeigte sich als sehr nöthig, denn die Senkung erfolgte keineswegs allmälig, sondern oft in heftigen Stössen. Einmal ereignete es sich sogar, dass der ganze Bau plötzlich mit einem donnerähnlichen Krachen um volle 8 Zoll herabstürzte; Furcht und Schrecken bemächtigte sich aller Arbeiter, die beim Graben angestellt waren, und sie drängten sich an die Mauer, um, soviel es möglich war, der Dampfmaschine auszuweichen, die, wie sie meinten, die Rüstung durchbrechen und herabstürzen müsste; doch die Dampfmaschine arbeitete ruhig weiter und die Mauer zeigte keine Spur von Beschädigung.

Als der Schacht auf 37 Fuss Tiefe versenkt war, schnitt der eiserne Ring schon tief in den festen Klaiboden ein; der starke Wasserzudrang hörte auf und die weitere Senkung war nicht mehr möglich. Man grub nun mit Anbringung solider Steifen den Boden noch 24 Fuss tiefer auf und führte dann als Fortsetzung eine Mauer von 4 Fuss Stärke von unten bis zu dem beschriebenen Mauerwerke herauf, indem man in einzelnen Theilen den hölzernen und eisernen Ring, worauf der versenkte Kessel bisher geruht hatte, entfernte. In der untern Mauer wurde zugleich die Seitenöffnung, die den Eingang zum eigentlichen Tunnel bildete, dargestellt; die Construction desselben wird am gehörigen Orte berührt werden, hier bemerke ich nur, dass am Boden des Schachtes noch ein kleinerer Schacht von 25 Fuss Oeffnung auf 16 Fuss Tiefe angelegt wurde, worin sich das Wasser ansammeln und daraus entfernt werden sollte, sowie auch, dass der Boden des letzteren und des grösseren Schachtes bis zum Umfange des kleineren durch ein umgekehrtes Gewölbe wasserdicht abgeschlossen wurde.

Ich will ferner eine Brunnenanlage beschreiben, deren Héricart de Thury erwähnt und die wegen der eigenthümlichen Vorrichtungen merkwürdig ist, die man zur Beseitigung des starken Zudranges von Wasser und Sand anwenden musste. Zu Roubaix im Departement du Nord in Frankreich sollte ein Brunnen ausge-

führt werden. Aus früheren Versuchen wusste man, dass eine compacte Thonschicht die Quelle bedeckte, dass aber in der Tiefe von 25 Meter ein feiner Sand sehr reiche Wasseradern führte, die, sobald sie eröffnet waren, mit grosser Heftigkeit den Brunnen füllten, aber auch zugleich so viel Sand mit herauftrieben, dass sie die Brunnen gleich verschlämmten. Es wurde nun, um möglichst sicher zu gehen, ein Brunnen oder Schacht von $1\frac{1}{2}$ Meter Weite bis auf 23 Meter abgeteuft und mit einer leichten Holzverschalung ausgefüttert. Nun kam es darauf an, zu wissen, ob auch wirklich an dieser Stelle mit Leichtigkeit die Wasserader zu erbohren sei, denn früher wollte man die Ausmauerung des Brunnens nicht vornehmen. Zu diesem Zweck musste ein Arbeiter, dem man der Vorsicht wegen eine Leine um den Leib schlang, ein etwa 2 Zoll weites Loch ausbohren; als dieses ungefähr 2 Meter tief geschehen war, spritzte das Wasser mit solcher Heftigkeit hervor, dass der Arbeiter heraufgewunden werden musste. Der Brunnen füllte sich mit Wasser an, und als der Zufluss aufhörte und der Sand sich niedergeschlagen hatte, zeigte es sich, dass eine 2 Fuss hohe Verschlämmung von feinem Sande erfolgt sei. Nachdem man eine lange Zeit Alles hatte stehen lassen, verfertigte man eine hölzerne Röhre oder ein grosses Fass von 1 Meter Durchmesser und $14\frac{1}{2}$ Meter Höhe aus starken Bohlen, die mit eisernen Zugbändern zusammengetrieben waren. Dieses stellte man in die Mitte des Brunnens lothrecht auf; es reichte gerade bis über das Wasser und liess rings umher, gegen die Holzausfütterung einen weiten Zwischenraum. In den letztern wurde Béton geschüttet, der durch besondere Vorrichtungen noch angedrückt wurde, und nachdem derselbe erhärtet war, versuchte man endlich das Wasser auszupumpen. Dieses gelang vollständig, denn das Bohrloch war verschlämmt und gesperrt. Nun mauerte man über dem Béton den Raum zwischen dem Rohre und der Schalung aus, so dass also ein massiver Kessel gebildet wurde, und um endlich das Wasser hier einzulassen, wandte der Bohrmeister, Namens Hallette, noch eine Vorrichtung an, nämlich das Klärungsrohr, dessen er sich schon sonst in ähnlichem Falle bedient hatte. Dasselbe bestand in einer dünnen Röhre aus Eisenblech, die mit vielen Abtheilungen versehen und mit Steinen gefüllt war, um ein zu schnelles Aufsteigen des Wassers und sonach

das Eindringen des Sandes zu verhindern. Diese Röhre wurde durch kein Bohrloch geschoben, sondern mittels einer Art Ramme in den Boden getrieben, indem man sie lose auf einen eisernen Kegel, ähnlich einem Pfahlschuhe, aufstellte; letzterer löste sich, sobald er in den losen Sand kam, von selbst ab und hinderte alsdann nicht mehr das Eintreten des Wassers. Auf diese Art wurde der Zweck vollständig erreicht, es strömte ein kleiner Quell mit mässiger Geschwindigkeit ein, der nach und nach den Brunnen füllte und dauernd speiste.

Endlich mag hier noch eines Brunnenbaues Erwähnung geschehen, der theils wegen der Wahl des Materials zur Einfassung und theils auch in anderer Beziehung merkwürdig ist. Es ist dieses der in den Jahren 1835—1838 in der Hampstead-Strasse in London für die New-River Company *) ausgeführte Brunnen. Der Boden besteht hier unter der obern 25 Fuss mächtigen Kiesablagerung auf 59 Fuss Tiefe aus dem sehr zähen und strengen London-Clay, in den nächsten 10 Fuss aus einem etwas leichten Boden, der dann in feinen Sand übergeht; darunter kommen wieder abwechselnd Thon- und Sandschichten vor, bis man in der Tiefe von 160 Fuss den festen Kalkfelsen erreicht. Mit gewöhnlichen Brunnen konnte man bisher nicht tiefer als bis auf den feinen Sand herabkommen, und wenn man auf diese Art zwar auch Wasser erreichte, so war der Uebelstand damit verbunden, dass bei starkem Pumpen eine grosse Menge Sand in den Brunnen eindrang, und dadurch nicht nur Verschlämmung entstand, sondern es bildeten sich auch nachtheilige Aushöhlungen des Bodens in der Nähe, die Erdfälle veranlassten und die umliegenden Gebäude in Gefahr brachten. Diese Uebelstände mussten aber verschwinden, wenn es gelang, den Brunnen bis in den Kalk herabzuführen und dieses war im vorliegenden Falle die Absicht. Der Brunnenkessel hat auf die ersten 25 Fuss (im Kiese) eine lichte Weite von $12\frac{1}{2}$ Fuss. Dieser Theil wurde zuerst ausgeführt, dann konnte man im London-Clay ohne Schwierigkeit eine 57 Fuss tiefe Oeffnung darstellen und sie von unten ab ausmauern; dieses geschah in einer Weite von $10\frac{1}{4}$ Fuss. Es war die Absicht, von hier ab

*) Eine Gesellschaft, welche einen Theil von London mit Trinkwasser versieht.

mittelst 8 Fuss weiter gusseiserner Röhren, die immer aus 6 Segmenten von 9 Fuss Länge zusammengesetzt waren, die Sandschicht zu durchdringen, während in ähnlicher Art, wie bei dem Schacht am Themse-Tunnel, der Boden ausgegraben und vom Wasser frei gehalten werden sollte. Die eingebrachten Röhren bogen sich aber wegen des ungleichförmigen Druckes im Sande, man musste eine zweite und eine dritte Röhre anbringen, ohne dass man merklich weiter kam, und das Auftreiben des Sandes, der sich oft bis 6 Fuss hoch im Brunnen ablagerte, wurde immer bedenklicher; da kam endlich ein gewisser Simpson darauf, dass das Auspumpen des Wassers allein die Ursache des Uebels sei. Es wurde nun aus gewalzten Eisenplatten, von der Stärke, wie sie zu Dampfkesseln benutzt werden, ein Cylinder von 62 Fuss Höhe und $5\frac{1}{6}$ Fuss Weite verfertigt. Man versenkte denselben, indem man nur den Sand ausbohrte, ohne das Wasser auszuschöpfen. Auf diese Art erreichte man die Kalkschicht, und trotz des starken Wasserzudranges legte man nun den Brunnen trocken und führte unter der Röhre eine pyramidale Mauer auf, welche mittels eines gusseisernen Ringes die Röhre trug; dann vertiefte man noch den Brunnen so weit, dass er im Ganzen die Tiefe von 183 Fuss erhielt. Spätere Versuche zeigten, dass dieser Brunnen 15 bis 30000 Cubikfuss Wasser in 24 Stunden liefern konnte. *)

§. 9.

Ueber Artesische Brunnen im Allgemeinen.

Die Artesischen Brunnen haben ihren Namen von der französischen Provinz Artois erhalten, wo sie seit geraumer Zeit existiren und wo sie besonders diejenigen auffallenden Erscheinungen gezeigt haben, die seit einigen Jahrzehenden ein allgemeines Interesse für sie erregten. Die klüftige Kreideformation, welche sich längs der Küste von der Mündung der Seine bis zu dem Cap Blanc-Nez ohnfern Calais hinzieht, erstreckt sich in bedeutender Höhe mehr oder weniger mit aufgeschwemmtem Boden bedeckt weit landeinwärts und bildet noch die Wasserscheide zwischen der Somme und Schelde; doch von hier ab fällt

*) *The Civil Engineer and architect's Journal.* Juli 1839. S. 245 ff.

sie nordwärts ab, und in der Linie, welche die Städte Béthune, Lillers, Aire, St. Omer und Calais verbindet, ist sie schon auf nahe 100 Fuss mit Sand und Lehm bedeckt. Dabei findet hier auch eine merkliche Abdachung des Bodens statt, welche die Richtung der Flüsschen Yser und Lys und selbst die der Schelde bestimmt, welche aber noch nicht ein natürliches Hervortreten derjenigen Wassermassen gestattet, die in den Klüften der Kreide enthalten sind und sich darin nach dem Meere bewegen. Gewöhnliche Brunnen geben hier in geringer Tiefe, sobald man wasserführende Sandschichten erreicht, ziemlich befriedigende Resultate, aber wenn man eine Oeffnung bis zu grosser Tiefe und bis zur Kreideformation fortsetzt, so ist der Erfolg viel auffallender, indem das Wasser durch die weiten Klüfte der letzten ziemlich frei fliesst und bei der Darstellung einer freien Mündung beinahe unter dem ganzen Drucke hervorbricht, den die grössere Höhe des Niveau's in weiter Entfernung ihm mittheilt. Das Wasser sammelt sich also nicht nur in diesem Brunnen an, sondern es strömt aus demselben frei auf die Erdoberfläche und kann je nach der Localität auch darüber gehoben werden. So sind bei Gonnehem, ohnfern Béthune, vier Brunnen auf einer Wiese angelegt, in denen man die Röhren $11\frac{1}{2}$ Fuss über den Boden heraufgeführt hat, und welche nicht nur Wasser liefern, sondern dieses auch in einer solchen Höhe ausgiessen, dass sich ein hinreichendes Gefälle darstellt, um eine Mahlmühle zu treiben.

Bei der grossen Tiefe, bis zu welcher solche Brunnen herabgeführt werden müssen, sind die gewöhnlichen Methoden des Brunnenbaues nicht mehr anwendbar; zunächst sucht man die Anlagekosten dadurch zu vermindern, dass man die Weite des Brunnens auf wenige Zolle reducirt. Ferner wird in diesem Falle nicht gegraben, sondern gebohrt, und zur Verhütung des Einstürzens der Wände ersetzt eine engere Röhre die Stelle des weiteren Brunnenkessels.

Es ergiebt sich hieraus, was man im Allgemeinen unter einem Artesischen Brunnen versteht, es bleibt aber zweifelhaft, ob das unterscheidende Kennzeichen desselben das Ueberströmen des Wassers ist, oder ob man mit dieser Benennung jeden engen gebohrten Brunnen bezeichnen will. Es scheint, dass der Sprachgebrauch hierüber bis jetzt noch nicht bestimmt entschieden hat, und sonach

lässt sich die oft angeregte Frage, ob man überall Artesische Brunnen anlegen könne, auch nicht beantworten. Es ist gewiss, dass man mit Befolgung der hier bezeichneten Methoden überall ein Bohrloch ausführen, und wenn Mühe und Kosten nicht geschont werden, man dieses auch auf eine grosse Tiefe herabtreiben kann; dass man aber jedesmal Quellen finden wird, die bis über die Oberfläche steigen, ist nach der gegebenen Erklärung der Quellen gewiss nicht der Fall, und es wird sich sogar, übereinstimmend mit der vorstehenden Auseinandersetzung, auch zeigen, dass das Bohrloch zuweilen gar kein Wasser enthält, trotz der grossen Tiefe, bis zu welcher es herabgetrieben ist.

In Frankreich scheint man in neuerer Zeit bei der Benennung Artesischer Brunnen nicht sowohl den Begriff des Ueberfliessens, als vielmehr die Art der Ausführung im Sinne zu haben, wie sich dieses auch daraus ergiebt, dass man von Artesischen Brunnen spricht, die nicht Wasser geben, sondern es verschlucken. Für den vorliegenden Zweck kommt es vorzugsweise auf die Angabe der Methoden des Baues an, ich wähle daher die letzte Bedeutung dieses Wortes und verstehe unter einem Artesischen Brunnen jeden engen und tiefen gebohrten Brunnen.

Die Brunnen dieser Art sind in manchen Theilen von Deutschland, Frankreich und Italien schon seit Jahrhunderten bekannt, ihre erste Anwendung fällt aber in eine noch viel frühere Zeit, da die alten Egyptier sich ihrer schon zum Bewässern der Oasen bedienten, und ähnliche Brunnen, deren Zweck jedoch etwas verschieden ist, kommen auch in China sehr häufig vor. Von der Ausführung der gebohrten Brunnen in Egypten spricht bereits Olympiodor und sagt, dass sie eine Tiefe von 200 bis 300 und sogar bis 500 Ellen haben und dass sie das Wasser über die Erdoberfläche ausgiessen, welches dann zur Bewässerung der Aecker benutzt wurde. Durch neuere Untersuchungen hat sich die Richtigkeit dieser Angabe vollkommen bestätigt; der Bergbau-Ingenieur Lefebvre, der im Auftrage des Vicekönigs von Egypten zur Einrichtung des Bergbau- und Hüttenbetriebes vor Kurzem nach Sennaar reiste, machte vor seiner Abreise der Pariser Academie der Wissenschaften hierüber folgende sehr wichtige Mittheilung, und zwar nach den Angaben des Militair- und Civil-Gouverneurs

der sämmtlichen Oasen, Ayme, der in den Oasen von Theben und Garbe seit eilf Jahren chemische Fabriken eingerichtet hatte.

Die grosse Oase von Theben ist 25 Lieues lang und 2, 3 bis 4 Lieues breit. Die von Garbe hält etwa 20 Lieues, beide sind eiförmig gestaltet und umfassen beinahe 25000 Arpent (2¼ Quadratmeilen) sehr guten Boden, der sich nach den Versuchen von Ayme zur Cultur des Zuckerrohrs, des Indigo, Krapp und der Baumwollenpflanze eignet. Diese beiden Oasen sind wie ein Sieb mit Artesischen Brunnen durchlöchert, die aber grossentheils durch den Einsturz der alten Einfassungen und durch das Abbröckeln der Felsen, welche die Seitenwände ausmachen, verschüttet sind. Nachdem im Jahr 1836 ein Bohrgestänge von 500 Fuss Länge zugerichtet war, gelang es mehrere dieser Brunnen aufzuräumen, in welchen das Wasser bis zur Höhe des Erdbodens aufstieg.

Das Verfahren der alten Einwohner dieser Gegenden war Folgendes: es wurden vierseitige Löcher ausgehoben, die bei einer Weite von 2 bis 3½ Meter sich bis zum Kalk erstreckten, der in der Tiefe von 20 bis 25 Meter vorkommt. Die Erdschichten, welche man dabei durchschneidet, sind in der Reihenfolge von oben nach unten vegetabilische Erde, Thon, Mergel und thoniger Mergel. Letzterer liegt auf dem Kalke, unter welchem das Wasserbassin sich befindet, das alle Brunnen der Oase speist. Sobald die vierseitigen Brunnen den Kalk erreicht hatten, wurden sie mit einer dreifachen Schalung von Palmenholz eingefasst, um das Einstürzen der Erde zu verhüten. Bis soweit geschah die Arbeit im Trocknen, und nun musste die Kalkschicht, die 100 bis 133 Meter Dicke hat, durchbohrt werden, ehe man das unterirdische Wasser erreichte. Welche Methode des Bohrens in früherer Zeit hier angewendet wurde, ist nicht bekannt, beim Aufräumen der alten Bohrlöcher zeigte es sich aber, dass die Quellen unter dem Kalke sich in oder auf einer Sandschicht bewegen, die nach den Proben zu urtheilen, welche der Bohrer davon heraufbrachte, mit dem Sande des Nils genau übereinstimmt. Einer dieser Brunnen zeigte nach der Aufräumung und Reinigung eine Erscheinung, welche mit der bei Elbeuf wahrgenommenen ziemlich nahe übereinstimmt; aus der Tiefe von 108½ Meter kommen nämlich mit dem Wasser auch Fische herauf, womit seitdem Ayme's Tisch versorgt wird.

Man bemerkt auch, dass die alten Brunnengräber vorsichtig zu Werke gingen. Um nämlich ein zu starkes Ausströmen des Wassers zu verhindern, machten sie aus einem sehr harten Sandsteine einen Pfropfen, der mit einer eisernen Fassung umgeben, ganz oder theilweise geöffnet werden konnte. Bei anderen Brunnen sind statt dieser Pfropfen vorstehende hölzerne Röhren in die Bohrlöcher getrieben. Die Weite der Bohrlöcher beträgt 8 Zoll.

Wenn man die grosse Anzahl dieser Brunnen und ihre verschiedene Lage betrachtet, so sollte man glauben, dass man in diesen beiden Oasen überall aufsteigendes Wasser finden muss, wo man auch das Bohrloch anlegt; und es scheint, dass die Wassermenge allein durch die Weite der Löcher bedingt wird. Der Grund, weshalb man später von diesen Brunnen keinen weiteren Gebrauch gemacht hat, war theils der modrige Geschmack, den das Wasser annahm, indem die Holzeinfassung allmälig verfault ist und die Ausflussmündung verstopft hat; theils aber ist auch mit dem Holze so viel Mergel herabgefallen, dass die Brunnen verschüttet sind. Der Versuch, dieselben wieder aufzuräumen, fiel sehr kostbar aus, denn bei dem starken Wasserzudrange und bei dem Mangel an andern Hülfsmitteln mussten Taucher angewendet werden, die mit den Händen die Aufräumung vornahmen; ein allgemein verbreiteter Aberglaube liess aber nicht leicht Jemanden finden, der sich zu dieser Arbeit entschloss, und wenn dieses auch glückte, so geschah es nur gegen das enorme Tagelohn von fünf Piastern, und die Aufräumung erfolgte nicht nur sehr langsam, sondern auch nie vollständig. Dazu kommt noch der sehr theuere Preis des Holzes in diesen Gegenden, und so will Ayme versuchen, ganz neue Brunnen zu bohren, wobei sich hoffentlich wichtige Aufschlüsse über die Natur des Bodens und den mächtigen unterirdischen Strom ergeben werden, der, wie es scheint, von Darfour herkommt. *)

Die Artesischen Brunnen in China sollen eine ausserordentliche Tiefe haben und auf 1500 bis 1800 Fuss und sogar 3000 Fuss herabgeführt sein, ihre Weite beträgt 5 bis 6 Zoll. Sie kommen mitunter in so grosser Anzahl vor, dass in der Umgegend des

*) *Conte rendu des séances de l'Académie des sciences: Séance du Lundi.* 10. *Septembre* 1838.

Fleckens U-Thung-Khiao (29° 33′ N. Br. und 112° 11′ O. L.) auf einem Raume von 10 Lieues Länge und 4 bis 5 Lieues Breite mehrere Zehntausende derselben existiren.*) Sie sind in Felsen gebohrt, und das dabei angewendete Verfahren wird als so zeitraubend bezeichnet, dass mehrere Generationen an einem und demselben Brunnen arbeiten müssen, bevor der gesuchte Quell wirklich erreicht wird. Die nähern Umstände, die hierüber vor einigen Jahren die technischen Journale mittheilten, lassen jedoch diese Nachrichten als sehr zweifelhaft erscheinen. Diese Brunnen enthalten Salzquellen von 20 bis 25 Procent Salzgehalt, und sie fliessen nicht über, sondern die Sohle muss noch aus einer bedeutenden Tiefe mittels einer 24 Fuss langen Bambusröhre, die unten mit einem Ventile versehen ist, ausgeschöpft werden, wozu ein Göpel dient, vor welchem Ochsen gespannt sind. Die Art, wie die Brunnen hier gebohrt werden, gehört aber zur Methode des Seilbohrens, weshalb man selbige auch die Chinesische zu nennen pflegt.

In Europa waren gebohrte Brunnen bei Modena und Bologna, sowie auch in Nieder-Oesterreich, schon lange bekannt, und schon vor 200 Jahren führte Dominicus Cassini im Fort Urbain einen solchen Brunnen aus, der sein Wasser 15 Fuss über den Boden ausspritzte und in Röhrenleitungen es zu den obersten Geschossen der Häuser führte.**) Im alten Karthäuserkloster zu Lillers soll schon im Jahre 1126 ein Brunnen dieser Art ausgeführt sein, und Bélidor giebt in der *Science des Ingénieurs*, die 1729 erschien, eine vollständige Beschreibung der gebohrten und überfliessenden Brunnen (Cap. IV. Buch XII.) und fügt derselben eine Erklärung und manche Bemerkungen bei, welche mit den neuesten Erfahrungen genau übereinstimmen. Die allgemeine Aufmerksamkeit auf Anlagen dieser Art wurde jedoch vor wenigen Jahrzehenden durch die Brunnen in Artois angeregt; und 1818 setzte die Gesellschaft zur Beförderung der National-Industrie zu Paris einen Preis von 3000 Franks auf die beste Anweisung zur Aufbohrung fliessender Quellen, wie solche in der frühern Provinz Artois üblich sind. Diesen Preis gewann der beim Bergbau in

*) Poggendorff's Annalen. Band XVIII. S. 604.

**) *Arago, Annuaire* 1834. *p.* 185.

Arras angestellte Ingénieur Garnier, und die betreffende Abhandlung *) enthält eine ausführliche Beschreibung und Beurtheilung der anzuwendenden Geräthschaften, sowie des ganzen Verfahrens; sie giebt auch eine Uebersicht der geognostischen Verhältnisse, welche die Quellenbildung begünstigen, doch ist dabei vorzugsweise und beinahe ausschliesslich die Localität der Provinz Artois im Auge behalten. Von gleicher Wichtigkeit ist eine Schrift von Héricart de Thury **), worin besonders die geognostischen Verhältnisse auseinandergesetzt werden, welche bei Bohrbrunnen einen günstigen Erfolg herbeigeführt haben oder erwarten lassen. Ausserdem wird in diesem Werke die Ergiebigkeit und der Nutzen dieser Anlagen an sehr vielen Beispielen nachgewiesen, und zugleich sind die eigenthümlichen Erscheinungen beschrieben, die hin und wieder auf eine so auffallende Art sich dabei gezeigt haben. Seit dieser Zeit haben sich die Artesischen Brunnen sehr allgemein verbreitet; in Frankreich, Deutschland, England, Nord-Amerika sind sie vielfach ausgeführt, auch in Portugal, Algier und fast in allen übrigen cultivirten Ländern finden sich einzelne Anwendungen vor. Die Methoden haben sich vielfach abgeändert, und zum Theil weichen sie jetzt von denen, die Garnier angab, gänzlich ab. Ich will dieselben in ihren wesentlichsten Modificationen beschreiben, doch scheint es nöthig, zuvor noch manche Eigenthümlichkeiten der Artesischen Brunnen näher zu erörtern.

Was früher über den Ursprung der Quellen gesagt ist, bezieht sich sehr nahe auf die Artesischen Brunnen; in den meisten Fällen ist man im Stande, mit grosser Sicherheit anzugeben, woher sie ihr Wasser beziehen, und nur selten bleibt bei näherer Untersuchung des Terrains hierüber noch ein Zweifel übrig. Zuweilen trifft es sich auch, dass man eine eigenthümliche und an sich wenig wahrscheinliche Gestaltung der wasserhaltenden und undurchdringlichen Erdschichten annehmen muss, um, übereinstimmend mit der oben auseinandergesetzten Quellentheorie, ihren Ursprung

*) *de l'art du fontenier sondeur et des puits Artésiens.* Paris 1822.

**) *Considérations géologiques et physiques sur le gisement des eaux souterrains, relativement au jaillissement des fontaines artésiennes.* Paris 1828.

zu erklären; indem diese Fälle aber sehr selten sind, so darf auch ihr Vorkommen nicht befremden, und es würde vielmehr im Gegentheil auffallend sein, wenn unter den so verschiedenen Abwechselungen, welche die Erdschichten bei ihrer Bildung annehmen konnten, sie immer nur nach gewissen naheliegenden Regeln sich gelagert haben sollten. Jedenfalls bleiben die Lagerungsverhältnisse, die man mitunter supponiren muss, immer noch viel wahrscheinlicher, als die bei Gelegenheit der Quellen bereits erwähnten anderen Theorien es schon an sich sind; und es ist kein Fall bekannt geworden, bei dem die Erklärung des Wasserzuflusses durch den atmosphärischen Niederschlag und nach den allgemeinen hydrodynamischen Gesetzen eine Unmöglichkeit in sich schliesst.

Ueber die Richtung, in welcher sich das Wasser in diesen unterirdischen Strömen bewegt, hat man in einzelnen Fällen auch entscheidende Versuche angestellt; so erzählt Garnier, dass von zweien Brunnen neben dem Paradeplatze in Béthune der eine Brunnen sogleich trübes Wasser ausgoss, sobald in der Röhre des andern, der südwestlich vom ersten liegt, ein Kolben eingebracht und schnell auf und ab bewegt wurde; im umgekehrten Falle zeigte sich bei dem zweiten aber keineswegs die Trübung des Wassers. Es folgt also daraus, dass das Wasser sich in der bezeichneten Richtung, in welcher das Kalkgebirge fällt, auch wirklich bewegt. — Eine periodische Ab- und Zunahme der Wassermenge nach den verschiedenen Jahreszeiten und nach der niedergeschlagenen Regenmenge hat man bei den gebohrten Brunnen von grosser Tiefe nicht leicht bemerkt, nur bei dem Brunnen zu Elbeuf bemerkt man nach starkem Gewitterregen eine Trübung des Wassers. Es sind indessen bisher auch noch keine fortlaufenden und genauen Beobachtungen über die Reichhaltigkeit der Brunnen angestellt worden. Ein auffallender Unterschied kann sich auch kaum noch herausstellen, sobald das Wasser eine geraume Zeit braucht, um den unterirdischen Weg zurückzulegen, und dass dieses wenigstens zuweilen der Fall ist, lässt die bereits erwähnte Erscheinung am Brunnen zu Tours vermuthen, wo im Monat Januar 1831 Saamenkörner erschienen, die also mindestens einige Monate hindurch unterwegs gewesen waren.

Der Zusammenhang, in welchem manche Brunnen unter sich stehen, ist zuweilen sehr auffallend; so hat man nicht selten

bemerkt, dass durch Aufbohren eines zweiten Brunnens in der Nähe eines schon bestehenden die Ergiebigkeit dieses merklich geringer wurde, und indem man einen von beiden wieder schloss, strömte der andere sogleich um so kräftiger. In andern Fällen giebt sich diese Erscheinung nicht zu bemerken, und es ist klar, dass sie nur eintreten kann, wenn dieselbe Wasserader beide Brunnen versorgt, aber sie wird sich ausserdem auch nur zu erkennen geben, wenn der zweite Brunnen einen namhaften Theil der Wassermasse dieser Ader abzieht und sie also dadurch merklich geschwächt wird. Artesische Brunnen, die in der Nähe des Meeres angelegt sind, zeigen gewöhnlich einen auffallenden Zusammenhang mit der Fluth und Ebbe; an ein Eintreten der Fluth in den unterirdischen Wasserlauf darf man dabei nicht denken, aber der natürliche Wasserlauf findet zwei Ausmündungen, den einen ins Meer und den zweiten durch das Bohrloch auf die Erdoberfläche, je kräftiger der eine wirkt, um so geringer wird bei gleichem Zuflusse der andere sein. Indem nun zur Zeit der Fluthen das Gefälle des ersten viel kleiner wird, als zur Zeit der Ebben, so wird während der Fluthen auch mehr Wasser in das Bohrloch treten. Bei grösserer Entfernung des Brunnens von der Meeresküste wird dieser Einfluss sich aber auch etwas später einstellen, und da man sich die unterirdischen Wasseradern nicht als eine regelmässige und in sich geschlossene Röhrenleitung denken darf, so erklärt es sich, dass bei dem verminderten Abflusse während der Fluth einzelne Bassins sich füllen, oder Kiesmassen vollständig mit Wasser getränkt werden müssen, bevor der Einfluss der Fluth sich weiter aufwärts bemerkbar macht, und hieraus folgt, dass die Zwischenzeit leicht mehrere Stunden betragen kann. Dieses ist der Grund, weshalb manche Artesische Brunnen gerade umgekehrt während der Ebbe viel und während der Fluth wenig Wasser geben.

Die Ergiebigkeit eines Artesischen Brunnens und zum Theil sogar sein Gelingen hängt nicht nur von der relativen Höhe der Stelle ab, wo er angelegt werden soll, sondern eben so sehr auch von der Formation des Bodens. Die Wasserader, die einen reichlichen Zufluss gewährt, kann nur in einem klüftigen Gesteine oder in einer förmlichen Höhlung gesucht werden, die sich im Erdboden gebildet hat. Aus diesem Grunde geben dichte und mit

gar keinen oder nur mit engen Spalten durchzogene Gebirgsarten, wie die Urgebirge, auch keine stark überfliessenden Brunnen, ebenso wie auch die natürlichen Quellen hier schon ziemlich arm zu sein pflegen. Im Granit hat man in England einige Artesische Brunnen ausgeführt, die wenigstens zum Theil ihren Zweck erfüllt haben *); von dem Brunnen in Aberdeen in Schottland, der eine ansehnliche Wassermenge frei ausgiesst, hat jedoch Robison's spätere Untersuchung gezeigt **), dass er nicht in Granit, sondern in einer tiefen mit Sand ausgefüllten Spalte angelegt ist. Die Uebergangsgebirge, wenigstens die Grauwacke und der Thonschiefer, sind ungefähr von derselben Beschaffenheit, und einzelne Brunnen in Thonschiefer sind ausserdem wegen des schlechten Wassers, das sie enthielten, und welches vom Schwefelkiese stark verunreinigt war, auch als ganz missglückte Versuche zu betrachten.

Das eigentliche Gebiet der Artesischen Brunnen sind die Flötzgebirge; doch keineswegs geben alle hierher gehörigen Gebirgsarten gleiche Resultate; der Sandstein ist wieder sehr wasserarm, und wenn man darin auch Quellen findet, so fliessen sie nicht über, beim Keuper haben die bisherigen Versuche dasselbe ergeben, der Muschelkalk und Jurakalk stellen sich günstiger hervor, aber vorzugsweise finden sich in der Kreide die reichhaltigen Wasseradern, wenn nach den sonstigen Verhältnissen deren Bildung überhaupt möglich ist. Die Kalkerde wird nur in geringer Menge im Wasser aufgelöst, daher sind die Quellen, die aus derselben treten, von reinem Geschmacke und zu den meisten Zwecken brauchbar; aber durch das ununterbrochene Durchströmen von immer neuen Wassertheilchen geht auch die Auflösung der Kreide zwar langsam, doch dauernd fort, und so erweitern sich die Wasserläufe und es bilden sich Höhlungen, welche (wie bei Gelegenheit der Quellen in Paderborn bemerkt ist) auch einstürzen und dadurch Senkungen in der Erdoberfläche erzeugen. Diese Höhlungen sind es, welche zuweilen beim Bohren der Artesischen Brunnen ein plötzliches Herabsinken des Gestänges verursachen, und sie scheinen zum Theil auch von Fischen bewohnt zu sein, wenigstens liess sich sonst das Erscheinen derselben im Zirknitzer

*) *Civil Engineer and Architect's Journal.* 1839. *p.* 146.
**) Poggendorff's Annalen. Band 39. S. 588.

See und in den Bohrlöchern der Egyptischen Oasen nicht erklären. Auch in Frankreich hat man aus den Artesischen Brunnen zuweilen Fische hervorkommen sehen; so warf der Brunnen zu Elbeuf, der 149½ Meter tief ist, eine Menge kleiner lebendiger Aale aus, deren Uebereinstimmung mit den gewöhnlichen Aalen von der Academie der Wissenschaften constatirt wurde *), und im Artesischen Brunnen im Zuchthause zu Beaulieu, ¼ Meile von Caen, fand man sogar einen lebendigen ausgewachsenen Aal, der sich durch sehr grosse Augen auszeichnete, was auf einen dauernden Aufenthalt in dunkeln Räumen schliessen lässt. **)

Die Sandmassen, welche manche Bohrlöcher bei ihrer ersten Eröffnung ausgeworfen haben, und zum Theil auch die Wahrnehmungen beim Bohren selbst, zeigen, dass die unterirdischen Ströme nicht immer im Kalke sich befinden, sondern dass sie zuweilen auch zwischen diesem und einer darunterliegenden Sandschicht (grossentheils Grünsand) vorkommen. In diesem Falle bildet also der Kalk die feste Decke, welche das Verschütten des Stromschlauches verhindert.

Die Artesischen Brunnen endlich, welche den Felsboden gar nicht erreichen und nur zu den Sand- und Kiesschichten im aufgeschwemmten Boden herabgeführt sind, pflegen im Allgemeinen wenig ergiebig zu sein, indem sich hier keine weiten Oeffnungen bilden können und sonach die Quellen nur langsam durchsickern.

Die Höhe, zu welcher das Wasser der Artesischen Brunnen steigt, ist sehr verschieden, und sie hängt theils von dem Niveau des Speisewassers und theils von der Beschaffenheit der sonstigen Ausflüsse ab. Dass die Quellen zuweilen 20 bis 30 Fuss über den Boden gehoben werden können, ist bereits bemerkt worden, doch giebt es Beispiele, wo sie noch viel höher steigen; in einem Brunnen zu Bruck bei Erlangen soll das Wasser bis 70 Fuss ausgespritzt sein, woher die Steighöhe in einer Röhrenleitung wahrscheinlich noch bedeutend grösser gewesen wäre. ***) In vielen Fällen dagegen erreicht das Wasser nicht die Oberfläche der Erde, so dass also auch kein freier Ausfluss desselben statt-

*) Poggendorff's Annalen. Band 36. S. 561.

**) Poggendorff's Annalen. Band 38. S. 601.

***) Poggendorff's Annalen. Band 38. S. 601.

findet und die Anwendung von Pumpen nöthig wird, wie dieses namentlich in London zu geschehen pflegt.

Eben so verschieden ist die Reichhaltigkeit der Artesischen Brunnen und dieselbe hängt zum Theil von der Höhe ab, in der man das Wasser ausfliessen lässt oder auspumpt. Je grösser diese Höhe ist, um so schwieriger wird der unterirdische Quell bis dahin gelangen können und ergiesst sich deshalb um so stärker durch die übrigen natürlichen oder künstlichen Abzüge. Man hat diese Abhängigkeit überall bemerkt, und wo die Steighöhe nicht bedeutend ist, macht eine Differenz von einem oder wenigen Fuss schon einen sehr merklichen Unterschied in der Wassermenge; in jedem Brunnen giebt es aber eine gewisse Höhe, zu der das Wasser nur eben noch steigt, ohne sich darüber zu erheben; es hört sonach das Ausfliessen ganz auf, wenn die Oeffnung oberhalb dieser Grenze liegt. Im Allgemeinen sind Brunnen, die in der Secunde 5 Quart, oder gegen $\frac{1}{4}$ Cubikfuss Wasser geben, schon ziemlich selten, doch kommen auch Beispiele vor, dass sie bis 1 Cubikfuss in der Secunde liefern, wie z. B. der Brunnen in der Gemeine Bages, 2 Lieues südwestlich von Perpignan, der nach Arago's Mittheilung *) in jeder Minute 2000 Liter gab oder in der Secunde etwa $1\frac{1}{12}$ Cubikfuss.

Es ist begreiflich, dass so reiche Quellen, wenn sie unerwartet aus dem Boden hervorbrechen, manche Verlegenheit herbeiführen können, und dieses hat sich nach Héricart de Thury namentlich in England einige Male ereignet. Bei einem Brunnen überschwemmte das ausstürzende Wasser in Kurzem den Garten und füllte die Keller an. Der Versuch, dasselbe durch einen Verschluss der Röhre abzusperren, misslang, indem der Pfropfen immer mit grosser Heftigkeit herausgeworfen wurde, bevor man ihn noch fest eintreiben konnte. Es glückte jedoch, schwache Ringe oder dünne Röhrenstücke einzuschlagen, und dadurch verengte man nach und nach die Ausmündung, bis man sie zuletzt ganz sperren konnte. In einer Pensionsanstalt zu Tooting dagegen, wo das plötzlich ausbrechende Wasser die benachbarten Grundstücke inundirte, gelang es zwar, einen starken Pfropfen in die Röhre einzutreiben und dadurch den eigentlichen Artesischen Brunnen

*) Poggendorff's Annalen. Band 29. S. 362. und im *Annuaire* 1834.

zu sperren, aber nun drang das Wasser rings umher aus dem Boden hervor und drohete alle umstehenden Gebäude einzustürzen. Man musste sich beeilen die Oeffnung wieder frei zu machen und durch Rinnen und Gräben für den Abfluss des Wassers zu sorgen.

Von der Lage der Wasseradern im Erdboden hat man nie eine bestimmte Kenntniss, und sonach ist das Bohren nach denselben oder die Ausführung der Artesischen Brunnen auch immer ein zweifelhaftes Unternehmen. Selbst in dem Falle, wenn bereits ähnliche Anlagen in der Nähe existiren und man daher die Lagerungsverhältnisse im Allgemeinen kennt, so trifft es sich doch zuweilen, dass man die Wasseradern, wodurch die andern Brunnen gespeist werden, gar nicht findet, oder sie erst in viel grösserer Tiefe antrifft. Wegen dieser Unsicherheit muss man sich so einrichten, dass man sich nicht auf eine gar zu geringe Tiefe zu beschränken braucht; bei grösserer Tiefe ist es nach den gemachten Erfahrungen im Allgemeinen auch etwas wahrscheinlicher, dass die Quellen reichhaltiger und reiner sein werden. Aus diesem Grunde wird häufig der Wasserzufluss, den man zuerst antrifft, nicht zur Speisung des Brunnens benutzt, und man treibt das Bohrloch tiefer, um zu versuchen, ob nicht weiterhin ein besserer Quell gefunden wird. So kommen Beispiele vor, dass durch dasselbe Bohrloch bis fünf Adern aufgeschlossen wurden, welche verschiedenartiges Wasser auf verschiedene Höhe steigen liessen; dieses geschah z. B. bei einem Bohrloche neben dem Hafen von St. Ouen ohnfern St. Denis. Hierbei kann es indessen nicht fehlen, dass man mitunter auch auf Schichten trifft, in denen gerade ein ungehinderter Abfluss stattfindet, oder die nicht vollständig mit Wasser angefüllt sind. In diesem Falle kann kein Wasser in das Bohrloch treten, sondern im Gegentheil wird das zufällig im Bohrloche befindliche Wasser sogar herabfliessen und verschwinden. Bricht man die Arbeit an einer solchen Stelle ab, so hat man einen Brunnen dargestellt, der im directen Gegensatze zu dem sonstigen Zwecke der Brunnen nicht Wasser giebt, sondern Wasser verschluckt und man nennt ihn einen absorbirenden Brunnen, wie deren in neuester Zeit in Frankreich viele mit grossem Vortheile zur Ausführung gebracht sind.

Der Unterschied zwischen absorbirenden und zuleitenden Schichten oder Adern scheint indessen durchaus nicht wesentlich

zu sein, und es kann vielmehr jeder Brunnen, je nach der Art, wie er benutzt wird, stehendes Wasser enthalten, oder überfliessen oder Wasser verschlucken. Es existirt nämlich jedesmal eine gewisse Steighöhe, welche dem Drucke des Wassers in der Wasserader entspricht, und in diese stellt sich das Niveau des Brunnens, wenn er von oben weder Zufluss noch Abfluss hat; er bleibt auch (so lange nicht etwa Veränderungen in der Stärke des Quells eintreten) unverändert in dieser Höhe stehen. Diese Höhe ist aber dasselbe, was man im sandigen Boden den Stand des Grundwassers zu nennen pflegt. Schöpft man nun Wasser aus, oder lässt man dasselbe durch eine Oeffnung, die unter der Steighöhe liegt, abfliessen, so vermindert sich die Druckhöhe im Brunnen und die Wasserader füllt den Brunnen aufs Neue, und zwar giebt sie einen um so stärkeren Zufluss, je tiefer der Wasserstand unter der ganzen Steighöhe liegt; es erklärt sich hieraus wieder, dass durch die Senkung der Ausflussöffnung die Ergiebigkeit des Brunnens vermehrt wird. Im entgegengesetzten Falle, wenn man den Wasserstand im Brunnen über seine natürliche Steighöhe erhöht, oder Wasser zugiesst, so wird der Druck in der Röhre grösser, als der in der Wasserader, und das Wasser fliesst umgekehrt aus dem Brunnen in den Boden. Es ist indessen nicht leicht, diese Verhältnisse willkührlich in allen Brunnen eintreten zu lassen, und es kommt dabei besonders auf die Höhe des Bodens im Vergleich zu der natürlichen Steighöhe des Wassers an. Liegt z. B. der Erdboden viel höher, so kann man kein natürliches Ueberfliessen darstellen, weil der tiefe Ableitungsgraben sich gleich mit Wasser anfüllen und dadurch seine Wirksamkeit verlieren würde. Ebenso können Brunnen, die ihr Wasser weit über den Boden werfen, nur dasjenige Wasser verschlucken, welches unter einem noch grösseren Drucke ihnen zugeführt wird.

Die absorbirenden Brunnen sind sonach keineswegs als eine wesentlich verschiedene Art von Brunnen zu betrachten, sie verdienen indessen in mancher Beziehung einer nähern Erwähnung und ich will daher einige Anlagen dieser Art beschreiben. Zu St. Denis hatte man einen Artesischen Brunnen angelegt, dessen Wasser nicht den gewünschten Grad von Reinheit besass und welches überdies in solcher Menge hervorbrach, dass namentlich im Winter die Passage auf den Strassen unangenehm und bei

eintretendem Froste sogar gefährlich wurde. Die städtische Behörde wollte schon den Brunnen schliessen, als im Jahre 1828 der Ingénieur Mulot sich erbot, alle Uebelstände zu beseitigen, ohne dass der Brunnen eingehen dürfte; der Zufall begünstigte das Unternehmen und es glückte, eine Brunnenanlage darzustellen, die zu den interessantesten gehört, die überhaupt existiren. Mulot benutzte zuerst eine absorbirende Schicht (deren Tiefe jedoch nicht angegeben wird), um das überflüssige Wasser fortzuschaffen. Die Bohrung wurde dann weiter fortgesetzt, und in der Tiefe von 55 Meter fand er dieselbe reiche Wasserader, die schon früher benutzt war. Er ging aber noch weiter und schloss in 65 Meter Tiefe endlich einen Quell von grosser Reinheit auf, der jedoch nicht stark genug war, um den ersten ganz entbehrlich zu machen. Nun wurde folgende Anordnung getroffen: eine Röhre von 3 Zoll Weite führte den letzten Quell herauf und liefert sonach das Wasser zum Trinken und Kochen. Diese Röhre steckt in einer andern, die 4 Zoll weiter ist, und in der letzten steigt das minder reine Wasser in ein Becken, welches zugleich den ersten Quell aufnimmt, insofern derselbe nicht benutzt wird. Das erwähnte Becken giesst endlich das überflüssige Wasser in ein darunter befindliches Reservoir, und dieses wird durch eine 11 Zoll weite Röhre, welche zugleich die beiden andern einschliesst, in die absorbirende Schicht geleitet. Auf diese Art steigt das Wasser an derselben Stelle aus verschiedenen Tiefen herauf, wo es auch wieder herabgegossen wird. *)

In diesem Falle hatte man dem unterirdischen Quelle nur reines Wasser zugeführt, wenige Jahre später versuchte man es auch, auf dieselbe Art unreines Wasser abzuleiten. Der Abgang und das Spühligt einer Stärkefabrik zu Villetaneuse, einem Flecken ohnfern St. Denis, verunreinigte die Brunnen in der Nachbarschaft und nicht minder den Bach Enghien, worüber weit und breit Klagen erhoben wurden. Der Versuch, dasselbe durch Senkgruben fortzuschaffen, missglückte, indem diese Gruben nichts verschluckten und sogar Wasser gaben, und so wurde denn endlich im Jahre 1831 ein Ausschuss des Gesundheitsrathes mit der nähern Untersuchung der Angelegenheit beauftragt. Die Commissarien erkannten es für

*) *Annales des ponts et chaussées.* 1833. II. *p.* 314.

durchaus nöthig, das schmutzige Wasser auf irgend eine andere Weise zu entfernen, und machten zugleich den Vorschlag, es durch Bohrlöcher in einen unterirdischen Strom zu versenken. Es war nun wieder der Ingénieur Mulot, der die Ausführung des Bohrloches übernahm; und es gelang auch hier und zwar in der Tiefe von 64 Meter, den gewünschten Abfluss zu eröffnen. Während des Winters von 1832 auf 1833 verschluckte der Brunnen täglich 80000 Liter oder in 33 Secunden einen Cubikfuss, ohne dass weder von den nächsten Nachbarn, noch sonst irgendwo eine Beschwerde erhoben wurde. Nachdem dieser günstige Erfolg bekannt geworden war, wurde bald bei einer andern Anlage gleichfalls in der Nähe von Paris die Methode nachgeahmt und zwar unter Umständen, die viel bedenklicher erschienen. In dem Bois de Bondy ohnfern des Ourcq-Canals, 4 Lieues von Paris, existirt nämlich seit geraumer Zeit eine Poudretfabrik, welche aus den Cloaken von Paris das Material bezieht und weit und breit um sich die Luft verpestet, auch das Wasser des Crou-Baches inficirt, der bei St. Denis in die Seine fliesst. Zur Einrichtung eines bequemen Betriebes der Fabrik wurde hier wieder durch Mulot, ohne dass davon weiter die Rede war, ein absorbirendes Bohrloch eröffnet, welches innerhalb 24 Stunden ungefähr 120 Cubikmeter oder in 22 Secunden einen Cubikfuss von dem im höchsten Grade unreinen Wasser verschluckte. Als die Polizeibehörde hiervon Kenntniss erhielt, liess sie aus Besorgniss, dass alle Artesische Brunnen bei Paris dadurch verunreinigt werden möchten, die Benutzung des Bohrloches einstellen und es wurde eine Commission zur Untersuchung des Gegenstandes niedergesetzt. Der berühmte Ingénieur Girard war Mitglied und Berichterstatter dieser Commission, und das Gutachten desselben sprach sich unbedingt für die Beibehaltung der Anlage aus. Er wies nämlich in manchen Beispielen nach, dass die wasserführenden Schichten, wenn sie verunreinigt werden, ihren Einfluss nur auf die allernächsten Umgebungen erstrecken, und besonders zeigte er dieses am Irrenhause in Bicètre, wo der Urin, Spühligt und dergleichen von 4000 bis 6000 Menschen seit dem Jahre 1810 in die zweite wasserführende Schicht herabgestürzt worden, ohne dass Brunnen in der Entfernung von einigen Hundert Metern, die nach ihrer Tiefe zu urtheilen durch dieselbe Schicht gespeist werden, eine Spur von

Verunreinigung zeigen. Hiernach meinte er, sei es durchaus nicht zu erwarten, dass ein nachtheiliger Einfluss sich bis nach Paris erstrecken könne. Alle Quellen und Brunnen in grösserer Nähe wären dieser Gefahr nicht ausgesetzt, indem sie nur durch die obern Schichten gespeist werden. Die letzte Voraussetzung scheint nicht ganz klar zu sein, da dieselbe Schicht, die hier absorbirt, leicht bei einiger Senkung des Terrains schon überfliessende Brunnen geben kann. Endlich wurde bemerkt, dass kein rechtlicher Grund zur Unterdrückung der Anlage existirt, und gewiss wäre die Vorsicht zu weit getrieben, eine Verunreinigung des Erdbodens in der Tiefe von mehreren Hundert Fuss noch verhindern zu wollen. Bei Ausführung des Bohrloches hatte Mulot in der Tiefe von 40 bis 47 Meter in klüftigem Kalk eine absorbirende Schicht gefunden, die jedoch in 24 Stunden nur 50 bis 60 Cubikmeter aufnahm, dagegen fand sich in 65 bis 75 Meter Tiefe eine Sandschicht, welche die benannte Quantität verschluckte, weshalb mit dem Bohren nicht weiter gegangen wurde. Es ist auffallend, wie die Capacität des Bohrloches nach der Eröffnung desselben sehr schnell und ziemlich regelmässig zunahm, dasselbe verschluckte nämlich

zu Ende März	1834	täglich	107	Cub. Met.
Anfang April	-	-	137	-
Mitte April	-	-	147	-
Ende April	-	-	147	-
Anfang Mai	-	-	157 *)	-

Das Vertrauen zu den Anlagen dieser Art nahm nun schnell zu, und im Jahre 1834 liess der Magistrat von Paris drei absorbirende Brunnen an den drei Thoren du Combat, de Saint-Mandé und de la Cunette ausführen. Der erste, der hauptsächlich einen sumpfigen District, dem die natürliche Entwässerung fehlte, trocken legen sollte, war in demselben Jahr durch Mulot auf 81¼ Meter herabgetrieben und im folgenden Winter stellte man Versuche über seine Capacität an. Diese gaben das überraschende Resultat, dass er in einer Stunde 50, 70 und in dem letzten Experimente sogar 100 Cubikmeter, oder in der Secunde bis $\frac{9}{10}$ Cubikfuss Wasser

*) Vergl. *Annales des ponts et chaussées.* 1833. II. *p.* 324 ff. und 1835. I. *p.* 126.

verschluckte. Die Weite der Röhre war nach der Tiefe verschieden, sie betrug zum Theil nur 0,13 Meter, oder nahe 5 Zoll. Man versuchte auch durch einen aufrecht schwimmenden Maassstab die eintretende Erhebung des Wasserspiegels im Bohrloche während des Zuflusses zu beobachten; doch gelang es nicht, hierüber zu einem entscheidenden Resultate zu kommen, indem der Schwimmer, der nur geringe Dimensionen erhalten durfte, von dem abwärts gerichteten Strome mit heruntergezogen wurde. *)

Auf solche Art haben die Artesischen Brunnen in der letzten Zeit eine neue Anwendung gefunden, welche ihrer sonstigen Benutzungsart gerade entgegengesetzt, aber keineswegs minder wichtig ist. Ueber den Nutzen dieser Brunnen mit Rücksicht auf ihren ersten Zweck ist noch Einiges zu bemerken. Es bedarf keiner nähern Erwähnung, dass die Beischaffung von einem reichlichen Zuflusse reinen Wassers häufig als ein so wichtiger Gegenstand erscheint, dass davon allein die Industrie, Bodencultur und vielleicht die Bewohnbarkeit einer Gegend abhängt. Indem nun durch die Artesischen Brunnen tiefliegende Wasseradern, die diesen Bedingungen entsprechen und die man mit gewöhnlichen Brunnen nicht erreichen kann, aufgeschlossen werden, so ist ihr Nutzen zuweilen unschätzbar gross. Wenn indessen die Quantität des Wassers, welches sie liefern, und die Höhe, zu der sie es heben, auch keineswegs den Wünschen immer entspricht, so kann dennoch die Reinheit und Frische des Wassers schon die Anlagekosten reichlich entschädigen, und namentlich pflegt dieses der Fall zu sein, wo sie aus Kalklagen entspringen. Man hat in neuerer Zeit daran gedacht, die gewöhnlichen Brunnen, deren Wasser minder rein ist, durch Artesische zu ersetzen. Wo letztere überfliessen und weite Brunnenkessel füllen, da ist eine Anordnung dieser Art ganz passend; wo jedoch der Wasserstand im Bohrloche bedeutend unter der Oberfläche des Bodens bleibt und man die Saugröhre der Pumpe unmittelbar in das enge Bohrloch hängen muss, da ist die Ergiebigkeit sehr beschränkt und es lassen sich damit nicht die Wassermassen beischaffen, welche ganze Strassen bevölkerter Städte oder auch nur einzelne Etablissements, wie z. B. grosse Brauereien, erfordern. Dieser Gegen-

*) *Annales des ponts et chaussées.* 1835. II. *p.* 362.

Bayerische Staatsbibliothek München

stand ist ausführlich behandelt in einem Aufsatz von John Seaward *) und es wird darin ein Beispiel angeführt, wie durch Herabführung des Brunnenkessels bis unter den Wasserstand die Wassermenge, die man ausschöpfen konnte, sich um das Zehnfache vermehrte.

Die Versuche, durch Artesische Brunnen dem Wassermangel in Canälen und Hafenbassins abzuhelfen, haben wohl überall unzulängliche Resultate gegeben. Der Hafen zu St. Ouen ohnfern Paris besteht in einem Bassin, welches einen höhern Wasserstand als die Seine hält und von letzterer durch eine Schiffsschleuse getrennt ist; bald nach der Vollendung der Anlage zeigte sich ein sehr merklicher Wassermangel, indem die Zuflüsse nicht reichhaltig genug waren, um den Wasserbedarf der Schleuse bei einer lebhaften Schifffahrt zu liefern. Man legte nun zwei Artesische Brunnen an, die freilich das Wasser bis 7 Meter über das Niveau des Hafens ausgossen, aber nicht die hinreichende Quantität lieferten, indem sie in der Secunde zusammen nur etwa $\frac{1}{4}$ Cubikfuss Wasser gaben, und man musste sich entschliessen, noch ein grosses Wurfrad zu erbauen, welches, durch eine Dampfmaschine getrieben, das Wasser aus der Seine hebt. Bei London missglückte ebenso der Versuch, einem Canal durch Artesische Brunnen etwas mehr Wasser zu verschaffen, wie Seaward erzählt, und ebensowenig konnte die New-River-Company dadurch eine merkliche Vermehrung der Wassermenge erzielen, dass sie Artesische Brunnen anlegte. Auch im nördlichen Deutschland ist es versucht worden, an einem Orte, wo Artesische Brunnen schon mehrfach mit Erfolg ausgeführt waren, einen Schifffahrtscanal, der immer Mangel an Wasser leidet, zu speisen, das Resultat fiel aber so unglaublich dürftig aus, dass die grossen Erwartungen der Unternehmer gleich vollständig beseitigt wurden.

Es ist bereits erwähnt worden, dass man das Wasser der Artesischen Brunnen bei Béthune zum Betriebe eines Mühlrades benutzt; es giebt hiervon noch manche andere Beispiele, doch muss man dabei immer an keine grossen Werke denken. Die Mühle bei Béthune mahlt in 24 Stunden etwa 4 Centner Mehl; ein anderer Brunnen treibt ein Rad, das eine kleine Handpumpe bewegt, und in dieser Art sind alle hierher gehörigen Anlagen.

*) *Transactions of the Institution of Civil Engineers. Vol. I. p.* 145.

Bayerische Staatsbibliothek München

Wichtiger scheint der Nutzen zu sein, den man hin und wieder von der Temperatur des Artesischen Brunnenwassers gezogen hat, so lässt man es im südlichen Deutschlande mehrfach im Winter über die Mühlenräder fliessen, um die Bildung von Eis zu verhindern, und in einer Papiermühle bei Heilbronn leitet man es in Röhren durch die Räume der Fabrik und erhält dadurch auch bei starkem Froste die Temperatur auf + 6° R. *)

Von besonderer Wichtigkeit sind die Artesischen Brunnen endlich in neuerer Zeit für die Salinen geworden, indem es durch Anwendung derselben häufig geglückt ist, eine viel reichhaltigere Sohle zu gewinnen. Die tiefsten Bohrlöcher, die überhaupt ausgeführt sind, hat man gerade zu diesem Zweck unternommen, und es giebt in Deutschland mehrere Beispiele, dass sie über 1000 Fuss tief herabgetrieben sind. Gerade in solchen Fällen pflegt sich noch eine eigenthümliche Erscheinung darzustellen, die nicht mit Stillschweigen übergangen werden darf. Es kommt dabei nämlich häufig auch ein starkes Ausströmen von Gas vor, und zwar besteht dasselbe aus Kohlenwasserstoffgas, welches man hin und wieder auch besonders ableitet und es als Feuerung benutzt; ein interessantes Beispiel dieser Art gewährt eine Saline in Westpfahlen, wo das Gas sich in einem Gasometer ansammelt und nach einem Wohnhause geführt wird. Es tritt auf dem Heerde in einem Rohre aus und zu den meisten häuslichen Zwecken ist kein anderes Brennmaterial, als dieses erforderlich.

§. 10.

Artesische Brunnen: das Gestänge.

Die verschiedenen Operationen, welche bei der Anlage Artesischer Brunnen vorkommen, bestehen hauptsächlich

1) in dem eigentlichen Bohren oder in der Ausführung des Bohrloches,

2) in der Einfassung der Seitenwände desselben, oder im Einschieben von Futterröhren, um das bereits ausgeführte Bohrloch vor dem Verschütten zu sichern, und endlich

*) Verhandlungen des Gewerbevereins in Preussen. 1830.

3) im Einbringen der wasserdichten Steigeröhre, durch welche der aufgeschlossene Quell ohne Verlust an Wasser und ohne Verunreinigung durch fremdes Wasser sich an die Erdoberfläche erhebt.

Die grosse Schwierigkeit besteht hier darin, dass man in einer Tiefe zu arbeiten hat, wo man den Bohrer und die übrigen Apparate nicht unmittelbar führen und ihnen die gehörige Richtung und Haltung geben kann, vielmehr geschieht dieses nur durch Vermittelung einer Stange oder eines Seils von mehreren Hundert bis Tausend Fuss Länge. Nichts desto weniger muss das Bohrloch immer senkrecht gehalten werden und einen bestimmten und regelmässigen Querschnitt haben, weil sonst der Bohrer nicht gehörig wirken kann und eine weitere Fortsetzung der Arbeit unmöglich werden würde. Auch die Einführung der Futter- und Steigeröhren erfordert eine gerade Richtung und ausserdem eine gleiche Weite des Bohrloches. Dazu kommt noch, dass der Boden oft von sehr wechselnder Beschaffenheit ist, so dass man zuweilen bald auf Sand und bald auf sehr feste Geschiebe trifft, von denen der erstere eine Ausfütterung verlangt und die letzten nicht mit gewöhnlichen Erdbohrern, sondern mit Meisseln durchstossen werden müssen, und dass man vielleicht unter diesen wieder eine lose Schicht, oder ein bröckelndes Gestein vorfindet, wo die Einbringung von Futterröhren aufs Neue nöthig wird. Den grössten Uebelstand bilden aber endlich noch die mancherlei Zufälligkeiten, die bei solcher Arbeit unvermeidlich sind; einzelne Theile des Apparats brechen und bleiben im Bohrloche stecken, hin und wieder fallen Schrauben oder andere Stücke herab, die bereits eingesetzten Futterröhren werden beschädigt und dergleichen mehr. Auf solche Art ist der Erfolg dieser Anlagen immer weit unsicherer, als der von andern Bauwerken, und dieses nicht nur in Bezug auf die Tiefe, worin die Quellen angetroffen werden, sondern auch auf die Arbeit selbst. Wenn es bei einer geschickten Leitung und bei hinreichenden Geldmitteln auch nicht leicht vorkommt, dass die angefangene Arbeit nicht fortgesetzt werden kann, so ist die Langsamkeit im Fortschreiten derselben und die häufig eintretende Unterbrechung doch oft Veranlassung, das ganze Unternehmen aufzugeben. Anfangs schreitet das Bohren sehr schnell vor, doch bald werden alle Operationen

viel zeitraubender, und in der Tiefe von einigen Hundert Fussen pflegt man täglich kaum um einen Fuss weiter zu kommen, dabei werden aber immer häufiger und bedenklicher die eintretenden zufälligen Störungen. Bricht in grosser Tiefe ein Theil des Apparats und stürzt er in das Bohrloch herab, so müssen tausende von Versuchen gemacht werden, das verlorene Stück wieder zu fassen, bevor dieses endlich glückt. Eine directe Methode, deren Erfolg ganz sicher wäre, giebt es nicht, bei der unendlichen Mannigfaltigkeit der Zufälle, die hierbei eintreten können und die man von oben aus auch gar nicht gehörig zu beurtheilen im Stande ist, ist ein ganz sicheres Verfahren zum Fassen des verlorenen Stückes auch gar nicht denkbar. Man probirt also eine und die andere Methode Wochen und Monate lang, bis es endlich zufälliger Weise glückt, das Hinderniss zu heben.

Für das Bohren selbst werden zwei wesentlich verschiedene Methoden angewandt, nämlich entweder mit festem Gestänge, oder mit dem Seile. Nach der ersteren wird der Stiel des Bohrers bei der zunehmenden Tiefe des Bohrloches nach und nach durch angesetzte Stangen verlängert, und indem die Bewegung, die man der obersten Stange giebt, sich durch die folgenden auch dem Bohrer mittheilt, so behält man immer einigermaassen die Führung des Bohrers und kann ihn wenigstens drehen und in jeder beliebigen Stellung herablassen. Ein grosser Uebelstand hierbei ist der Zeitverlust, den jedesmal das Herausheben und ebenso das Herablassen des Bohrers verursacht; denn das Gestänge muss in einzelnen Theilen von höchstens etwa 30 Fuss Länge zerlegt werden, wozu bei grösseren Tiefen mehrere Stunden, auch wohl halbe Tage gehören, und so geschieht es zuweilen, dass der grösste Theil der Zeit auf das immer wiederholte Auseinandernehmen und Zusammensetzen des Gestänges verwendet wird. — Das grosse Gewicht und die Kostbarkeit eines langen Gestänges sind gleichfalls Uebelstände dieser Methode. Beim Seilbohren kommen die bisher erwähnten Nachtheile zum Theil in geringerem Maasse vor. Das Gestänge wird hier durch ein Seil ersetzt, woran der Bohrer hängt; will man den letzteren herausnehmen, so braucht man nur das Seil aufzuwinden, was in einer ungleich kürzeren Zeit geschieht. Dagegen vermisst man bei dieser Methode den grossen Vortheil, dass man den Bohrer drehen kann, und

sonach wird theils das Durchfahren von Erdschichten beinahe unmöglich, theils aber nehmen auch die Schwierigkeiten beim Fassen herabgestürzter oder zerbrochener Bohrer in einem sehr hohen Grade zu. Das Seilbohren findet daher seine eigentliche Anwendung nur in festem und zusammenhängendem Gesteine; die dazu gehörigen Apparate lassen sich mit minderen Kosten beischaffen, und wenn kein Bruch sich ereignet und alle Arbeiten glücklich von Statten gehen, so kann man wohl die Anlage in kürzerer Zeit und mit geringeren Kosten, als nach der ersten Methode, beendigen. Kommen dagegen solche Zufälligkeiten vor, dass also etwa ein Bohrer stecken bleibt, und bei den ersten Versuchen, denselben zu heben, die Wände des Bohrloches abbröckeln und dadurch eine Menge Steinschutt über dem Bohrer sich ansammelt, dann hört alle Wirksamkeit des Seilbohrens auf, und es bleibt nichts weiter übrig, als die frühere Arbeit ganz aufzugeben, oder zu einem festen Gestänge seine Zuflucht zu nehmen. Der Vorzug der allgemeineren Anwendbarkeit und der grösseren Sicherheit möchte daher wohl unbedingt auf der Seite der ersten Methode liegen, welche auch viel häufiger als die zweite und bei grösseren Anlagen ausschliesslich angewendet wird.

Ich werde zunächst die Methode des Bohrens mit festem Gestänge und dann das Seilbohren beschreiben. *)

Das Gestänge bildet die Verlängerung des Stieles der Bohrer und der sonstigen Instrumente zum Aufräumen und Vertiefen der Bohrlöcher. Es besteht aus Stangen von geschmiedetem Eisen, die an ihren Enden mit Vorrichtungen versehen sind, wodurch sie möglichst leicht auf eine solide Art mit einander verbunden werden können. Diese einzelnen Theile oder Glieder

*) Ausser dem erwähnten Werke von Garnier: *de l'art du fontenier sondeur*, handeln hierüber besonders ausführlich folgende Schriften:

1) Das technische Verfahren bei Bohrung Artesischer Brunnen von Paulucci. Wien 1838.
2) *The constructive Manual by Chr. Davy. Vol. I.* London 1839. *p.* 10 ff.
3) Karsten und v. Dechen, Archiv. Band XII. Heft 7. (Beschreibung der Bohrarbeit bei Artern von v. Dechen.)
4) *Annales des Mines. Tom. XIV. p.* 315. *(Description des outils employés dans les travaux de sondage par Degousée.)*

müssen nicht nur die nöthige Stärke und Festigkeit besitzen, um nicht unter der eigenen Last zu reissen, sondern sie müssen auch der Drehung und dem verstärkten Zuge widerstehen, wenn der Bohrer sich festklemmen sollte. Eine zu grosse Vermehrung ihres Querschnittes würde in gleichem Maasse ihr Gewicht vermehren und dadurch die Arbeit um so schwieriger machen; es ist daher von der äussersten Wichtigkeit und namentlich bei einem sehr langen Gestänge, dass dasselbe aus dem besten Material besteht und zugleich möglichst sorgfältig verarbeitet ist. Der Querschnitt des Gestänges ist quadratisch, um jede einzelne Stelle desselben gehörig fassen und drehen zu können. Die Stärke wird offenbar von der ganzen Länge und zum Theil auch von der Weite des Bohrloches und manchen Eigenthümlichkeiten des Bodens abhängen, die einen grösseren oder minderen Widerstand bedingen. Der geringste Querschnitt, den ein Gestänge zu erhalten pflegt, welches dauernd benutzt werden soll, beträgt 1 Quadratzoll, und dieses genügt nur bei einer Tiefe des Bohrloches von gegen 200 Fuss; für grössere Tiefen bis etwa 500 Fuss pflegt die Seite des Quadrates schon 1¼ Zoll zu messen, und 1½ Zoll, wenn man gegen 1000 Fuss herabgehen will. Beim Bohrapparate, der im Schlachthause von Grenelle zu Paris angewandt wird und der bereits zu einer Tiefe von über 1400 Fuss herabreicht, hält der Querschnitt des Gestänges beinahe 4 Quadratzoll.

Man sollte meinen, dass bei grösserer Tiefe nur die obern Glieder verstärkt zu werden brauchten, doch lehrt die Erfahrung, dass die untern der Gefahr des Drehens und Biegens immer am meisten ausgesetzt sind, und daher pflegt man in Frankreich, wenn man nicht einen gleichen Querschnitt wählt, sogar die untern zu verstärken. Bei dem in Artern bis auf 1000 Fuss herabgeführten Bohrloch hatte der grösste Theil des Gestänges nur den Querschnitt von 1 Quadratzoll und nur die untern Stangen maassen 1¼ Zoll in der Weite, doch wurde das Gestänge hier auch besonders stark angegriffen.

Die Länge der einzelnen Glieder ist nicht immer gleich gross, und im Allgemeinen lässt man sie mit der grösseren Tiefe des Bohrloches und mit ihrer Stärke wachsen. Dieses hat seinen Grund darin, dass bei einer grossen und schwierigen Brunnenanlage hohe Rüstungen angebracht werden, welche es erlauben,

auch hohe Stangen bei Seite zu stellen; indem man aber oben kürzere Glieder anbringt, so vermeidet man die Unbequemlichkeit, dass beim Bohren das oberste Glied weit über dem Boden vorsteht. Bei Anwendung kürzerer Glieder darf man dieselben auch nicht immer einzeln lösen, sondern mit Rücksicht auf die Höhe der Rüstungen, wogegen sie gestellt werden, dürfen zwei oder drei derselben verbunden bleiben, wodurch die Arbeit um Vieles erleichtert wird. Die Länge der einzelnen Glieder beträgt in gewöhnlichen Fällen 12 bis 15 Fuss, zuweilen auch nur 8 Fuss und andererseits 30 bis 36 Fuss. Im Allgemeinen thut man aber immer wohl, sie nach Maassgabe der Rüstung und des Hebezeuges möglichst lang zu machen, weil alle Verbindungen, die man zwischen je zwei Gliedern anbringen kann, immer nicht die Sicherheit und Solidität haben, als wenn die Stangen im Zusammenhange ausgewalzt und zusammengeschweisst sind.

Die Art der Verbindung der einzelnen Glieder unter sich wird sehr verschieden gewählt und dieses hat seinen Grund wohl darin, dass keine Verbindung allen Anforderungen vollständig entspricht, die man an ein Gestänge macht. Eine Hauptbedingung ist, dass die Theile nicht nur vor einer zufälligen Trennung gesichert sind, sondern sie auch so fest aneinander halten müssen, dass sie gar nicht schlottern. Ferner muss eine Drehung des Gestänges wenigstens in einer Richtung vorgenommen werden können; es ist aber sehr vortheilhaft, wenn nöthigenfalls auch rückwärts gedreht werden kann, denn ein festgeklemmter Bohrer lässt sich auf diese Art am leichtesten lösen. Sodann muss die Operation des Auseinandernehmens und Zusammensetzens des Gestänges möglichst einfach und wenig zeitraubend sein, und es ist endlich noch von grosser Wichtigkeit, dass gar keine kleineren Verbindungsstücke, wie Schraubenbolzen oder Muttern, dabei vorkommen, da diese leicht in das Bohrloch herabfallen und sie dann nur mit der grössten Mühe und nach vielfachem Suchen und Probiren wieder heraufgebracht, oder seitwärts gedrängt werden können.

Die einfachste und vielleicht noch die beste Art der Verbindung der Glieder ist die einfache Schraube, indem jedes Glied an einem Ende mit einer Schraubenspindel und am andern mit einer Mutter versehen ist. Die Schraube darf aber keine schwache

Stelle im Gestänge bilden, und sie muss daher denselben Querschnitt, wie der übrige Theil des Gliedes haben; es folgt hieraus, dass die Mutter in einer angebrachten Verstärkung oder in einem Bundringe eingeschnitten sein muss. Wollte man beim scharfen Anziehen der Schraube nur die Oberfläche des Schraubenbolzens gegen den Boden der Oeffnung in der Mutter drücken lassen, so würde die Verbindung nicht solide genug sein, indem theils die Fläche, auf der die Reibung erfolgt, zu klein ist und theils auch die Schraubengänge in der Mutter nahe am Boden nicht genau ausgeschnitten werden können. Aus diesem Grunde versieht man auch dasjenige Ende des Gliedes, woran die Schraubenspindel sich befindet, mit einem ähnlichen Bundringe wie das andere Ende, und beide äussere Flächen dieser Bünde werden regelmässig bearbeitet, so dass beim Anziehen der Schraube zwischen ihnen der scharfe Schluss erfolgt; die Schraubenspindel muss aber in diesem Falle so kurz sein, dass sie den Boden der Mutter nicht berührt und sie auch bei einem später erfolgenden tieferen Eindringen nie dagegen stösst, was sich nöthigenfalls auch durch zwischengelegte Ringe vermeiden lässt. Um eine noch innigere Berührung hervorzubringen, werden zuweilen die erwähnten beiden Flächen flach abgedreht, die eine hohl, die andere erhaben, wie dieses Fig. 10, und zwar *a* im Durchschnitt und *b* in der Seitenansicht, zeigt; es wird dabei noch der Vortheil erlangt, dass nicht nur die Schraube, sondern auch diese conischen Flächen auf die Centrirung des Gestänges hinwirken; die Bundringe sind hier auch viel stärker angenommen, als man sie sonst macht.

Wie fest und einfach diese Verbindung auch immer ist, so tritt dabei der Uebelstand ein, dass man den Bohrer nicht zurückdrehen darf, weil sich sonst die einzelnen Glieder von einander lösen. Man hat zwar manche Vorrichtungen zur Verhütung des Auslösens beim Zurückdrehen noch angegeben und auch wirklich ausgeführt, aber dabei wird immer das scharfe Anziehen der Schraube beeinträchtigt und sonach leidet die Festigkeit und Steifigkeit des Gestänges. Nach Pauluzzi sollen die folgenden beiden Verfahrungsarten zu diesem Zwecke in Frankreich häufig gewählt werden. Die erste, welche auch in Deutschland verschiedentlich angewendet ist, besteht darin, dass man seitwärts durch die Mutter und die Schraubenspindel ein kleines Loch bohrt, wo man

entweder einen Pflock, oder eine kleine Seitenschraube einbringt und dadurch ein Ausdrehen der Hauptschraube unmöglich zu machen sucht. Es tritt jedoch hierbei der Uebelstand ein, dass die Schraube sich mit der Zeit etwas ausarbeitet und sie dann weiter vorgedreht werden muss, um gehörig zu schliessen; für diesen Fall trifft aber der Nagel nicht mehr das Bohrloch des Schraubenbolzens, oder wenn er dasselbe trifft, so ist die Schraube noch nicht fest angezogen. Wenn man sich auf die Durchstecknägel überhaupt verlassen könnte, so möchte sich durch Anbringung einer losen Schraubenmutter der erwähnte Uebelstand noch füglich vermeiden und eine in der Zusammensetzung ganz bequeme und zugleich für das Hin- und Herdrehen feste Verbindung erreichen lassen. Das obere Ende des Gliedes erhält nämlich nach diesem Vorschlage keinen Bundring, sondern nur ein langes Gewinde, worauf eine lose Mutter gleichfalls von der gehörigen Länge aufgeschroben ist und beständig darauf bleibt. Das untere Ende des nächsten Gewindes ist auf gewöhnliche Art mit einer Verstärkung, worin die Mutter ausgeschnitten ist, versehen. In der letzteren, sowie im Schraubenbolzen, befindet sich das Loch für den Durchstecknagel, und man schraubt den Bolzen bei der Zusammensetzung so weit ein, bis der Nagel eingebracht werden kann; alsdann wird, indem man das obere Glied festhält, die auf dem untern sitzende lose Schraubenmutter scharf angezogen. So lange der Nagel hält, kann eine Trennung der auf solche Art verbundenen Glieder nur durch Abdrehen der losen Mutter von dem obern Gliede erfolgen, was nie von selbst geschieht. Die Festigkeit der Durchstecknägel ist aber immer sehr zweifelhaft. Einen grossen Querschnitt darf man denselben nicht geben, weil sonst die Schraubenbolzen alle Haltbarkeit verlieren würden, und so werden sie, wenn einige Gewalt angewendet werden muss, auch gleich gesprengt, und dieses selbst in dem Falle, wenn man guten Stahl dazu verwendet. Dieses hat sich namentlich bei der Ausführung des bereits erwähnten Bohrloches bei Artern gezeigt.

Nach der zweiten Methode, die Pauluzzi erwähnt, werden die Verstärkungen oder Bundringe neben den Schrauben als sechseckige Prismen bearbeitet, und beim Zusammensetzen stellt man sie so, dass die Kanten beider zusammenfallen und streift dann sechseckige hohle Prismen darüber. Es ist klar, dass ein scharfer

Schluss der Schrauben im Allgemeinen hierdurch eben so wenig erreicht werden kann, wie bei der gewöhnlichen Anwendung der Durchstecknägel.

Sodann wendet man zuweilen statt der Schrauben gabelförmige Verbindungen an, so dass das Ende des einen Gliedes das des nächsten umfasst und mittelst Seitenschrauben gehalten wird. Auch hierbei kommen manche Modificationen vor, sowie denn überhaupt fast bei jedem neuen Gestänge, welches angefertigt wird, auch immer eine neue Art der Verbindung versucht zu werden pflegt. Die von Garnier empfohlene Verbindung, die Fig. 11 zeigt, hat den Vorzug einer grossen Solidität, und die Construction ist so ausgedacht, dass alle Theile sich mit Genauigkeit bearbeiten lassen und sehr fest in einander greifen, woher sie auch jetzt noch häufige Anwendung in Frankreich findet. Der grösste Uebelstand dabei ist das Vorkommen der losen Schraubenbolzen und Muttern; die letzten können zwar ohne Nachtheil entbehrt werden, wenn das Gewinde in dem hintern Lappen des Gestänges selbst eingeschnitten wird. Wenn man die Muttern anwendet, so müssen die Schraubenbolzen in der Nähe des Kopfes viereckig ausgeschmiedet sein, und einen gleichen Querschnitt müssen auch die Löcher in dem vorderen Lappen haben, denn sonst würden beim Anziehen der Muttern die Schraubenbolzen leicht mit gedreht werden. Ferner ist zu bemerken, wie dieses auch die Figur zeigt, dass die Bolzen in entgegengesetzter Richtung eingesteckt werden, damit sie gleichzeitig durch zwei Arbeiter befestigt und gelöst werden können; und endlich muss noch für alle Verbindungsarten erinnert werden, dass eine gleichmässige Bearbeitung aller Theile nothwendig ist, so dass die einzelnen Glieder nicht ihrer Reihenfolge nach ausgesucht werden dürfen, sondern alle zusammenpassen. Auch muss jeder Bohrer und jedes sonstige Werkzeug, das ans Gestänge befestigt wird, an seinem Kopfe in derselben Art geformt sein, wie jedes obere Ende eines Gliedes vom Gestänge, damit es an das untere Ende jedes einzelnen Gliedes passt.

Zum Heben des Gestänges bedient man sich zuweilen besonderer Kopfstücke, Fig. 12, in welche jedes obere Ende eines Gliedes hineinpasst. Dieselben sind oben mit einem Wirbel versehen, weil ein langes und schweres Gestänge, das unter seiner

eigenen Last biegen würde, auch während des Bohrens im Hebezeuge hängen muss. Ein solches Kopfstück findet besonders beim Gebrauche der Steinbohrer seine Anwendung, die nicht gedreht, sondern aufgestossen werden, es lässt sich aber in dem Falle nicht benutzen, wenn die einzelnen Glieder des Gestänges zusammengeschroben sind und gedreht werden, denn die Drehung wird nicht am Kopfe selbst vorgenommen, sondern an dem zunächst darunter befindlichen Gliede, und sonach wird letzteres bei einer Bewegung in der Richtung des Schraubenganges vom ersteren leicht gelöst. Man muss in diesem Falle besondere Haken oder Scheeren zum Fassen des Gestänges gebrauchen. Besonders bequem und sicher für diesen Zweck ist der Doppelhaken, den Fig. 13 *a* und *b* in der Ansicht von vorn und von der Seite zeigt. Die Entfernung seiner beiden Arme von einander ist so gross, dass wohl der mittlere Theil des Gliedes, aber nicht die Verstärkungen desselben dazwischen Raum finden; während des Bohrens werden die beiden Arme an ihren Enden noch mit einem Bolzen verbunden, damit sie nicht auseinander gedrängt werden, noch auch das gefasste Glied entweichen lassen. Der Haken muss übrigens mit einem Wirbel versehen und so geformt sein, dass er den Kopf jedes Gliedes in der Mitte fasst und nirgend ein Klemmen oder Biegen erfolgt.

Endlich ist der in Fig. 14 *a* und *b* dargestellte Haken auch sehr brauchbar und dieses besonders deshalb, weil er nicht nur den Kopf des Gliedes fasst, sondern jede Stelle des Gestänges sehr sicher hält; Fig. 14 *a* zeigt, wie er beim Eingreifen eine etwas schräge Lage annimmt und eben dadurch die Stange so fest klemmt. Aus diesem Grunde tritt bei seinem Gebrauche aber immer die Gefahr ein, die Stange, welche er fasst, zu verbiegen, und man muss daher, während das Gestänge in ihm hängt, jede Erschütterung vermeiden. Beim Ausheben und Herablassen des Gestänges ist dieser Haken indessen von grosser Wichtigkeit. Gesetzt, dass man das Gestänge ausheben will, so befestigt man am obern Ende desselben das Kopfstück Fig. 12, oder den Haken Fig. 13, und hebt das Gestänge hieran mittelst des Hebezeuges so hoch, dass die sämmtlichen Glieder, die auf einmal gelöst werden sollen, über dem Bohrloche schweben. Nun bringt man den in Rede stehenden Haken unter dem Kopfe desjenigen Gliedes

an, welches noch nicht gelöst werden soll. Dieser Haken ist an einem besonderen Seile befestigt, und nachdem er angelegt ist, so lässt man das Hebezeug so weit nach, bis das Gestänge in dem letzten Seile hängt. Jetzt können die obern Glieder von dem Gestänge gelöst werden, und indem sie noch an dem Hebezeuge hängen, so lassen sie sich leicht seitwärts stellen. Ist dieses geschehen, so wird das Kopfstück oder der Doppelhaken wieder an dem Gestänge befestigt und dasselbe hieran aufs Neue gehoben. Wollte man zu beiden Zwecken den Doppelhaken anwenden, so wäre es nöthig, das obere Ende jedes Gliedes mit zwei besonderen Bünden zu versehen, wie dieses auch zuweilen geschieht. Beim Zusammensetzen und Herablassen des Gestänges wiederholt sich genau dieselbe Reihenfolge der Operation, nur in umgekehrter Ordnung.

Ueber das Anknüpfen eines starken Taues an einen eisernen Ring oder Haken mag hier gleich das Nöthige bemerkt werden. Wollte man das Tau unmittelbar um den eisernen Ring schlingen, so würde eines Theils der Uebelstand eintreten, dass bei der sehr kurzen Biegung des Taues um den Eisenstab die Fäden ganz ungleich gespannt werden, und indem die am stärksten gespannten bald reissen, so kommen nach und nach alle Theile des Taues zum Bruche, und der ganzen Verbindung fehlt die nöthige Solidität. Ausserdem aber würde bei jeder Bewegung auch der Ring gegen das Tau scheuern und letzteres leicht abnutzen. Aus diesen Gründen pflegt man nicht nur im vorliegenden Falle, sondern bei jeder dauernden Benutzung von Hebezeugen die in Fig. 14 dargestellte Vorrichtung anzuwenden, die man eine Kausche nennt. Sie besteht aus einem Ringe von Eisenblech von 2 bis 3 Zoll Durchmesser, doch ist das Blech, bevor es zum Ringe gebogen wird, als flache Rinne ausgeschmiedet worden; in selbige wird das Tau gelegt und gehörig befestigt. Die Befestigung oder das Anknüpfen des Taues geschieht aber in der Art, wie Fig. 14 *b* zeigt, durch einmaliges Umschlingen und durch Anbringung eines halben Knotens oder eines einfachen Schlages. Nachdem das Tau umgelegt ist, klopft man die scharfe Windung bei *B* mit einem Hammer möglichst fest an, während man bei *A* das Tau hält, und zieht dann das kurze Ende herauf und bindet es mit einer dünnen Leine recht scharf gegen das längere. Diese Verbindung

ist nicht nur vollkommen sicher, sondern auch so fest, dass die Kausche immer scharf eingeklemmt bleibt und daher keine Reibung am Tau selbst erfolgt.

Zum Drehen des Gestänges bedient man sich eines Hebels, der doppelarmig sein muss, weil ein einarmiger das Gestänge verbiegen würde. Fig. 15 *a* und *b* auf Taf. II. zeigen in der Ansicht von der Seite und von oben einen solchen Hebel, der aus Holz besteht; er wird auf das Gestänge von oben aufgesteckt, und die Oeffnung *A* in demselben ist so geräumig, dass er nicht nur längs den einzelnen Gliedern, sondern auch über die Verbindung von zweien übergeschoben werden kann. Damit das Holz nicht spaltet, sind zwei eiserne Ringe *B* aufgetrieben, und in dem einen derselben ist ein Einschnitt von der Grösse des Querschnittes vom Gestänge gemacht, worin dieses beim Einstellen gelegt wird (Fig. 15 *b*). Ist letzteres geschehen, so schliesst man die Oeffnung *A* mit einem hölzernen Keile *C* und treibt denselben ein, dann ist das Gestänge gehörig befestigt. Dieser Hebel ist von Garnier angegeben; er hat aber den Nachtheil, dass beim Auslösen desselben durch das Herausschlagen des Keiles das Gestänge erschüttert wird und dabei leicht das im Erdbohrer befindliche Material ins Bohrloch zurückfällt. In neuerer Zeit bedient man sich in Frankreich gewöhnlich der eisernen Hebel, die Fig. 16 zeigt. Dieselben sind nicht nur sehr bequem, sondern sie haben auch den Vortheil, dass gar keine losen Theile dabei vorkommen. Es trifft sich indessen zuweilen, dass man eine sehr grosse Kraft anzuwenden gezwungen ist, wobei die erwähnten kurzen Hebel nicht genügen; in diesem Falle muss man noch lange Hebel, wie Schraubenschlüssel geformt, in Bereitschaft haben, deren einer in Fig. 17 dargestellt ist. Letztere werden auch zur Zusammensetzung des Gestänges benutzt, falls die Glieder durch Schrauben verbunden sind.

§. 11.

Artesische Brunnen: Bohrer.

Die Einrichtung und Form der Bohrer ist nach der Beschaffenheit des Bodens, in welchem sie gebraucht werden sollen, wesentlich verschieden, und ausserdem kommen noch vielfältige Veränderungen derselben vor, wodurch man sie in einer oder der

andern Beziehung brauchbarer zu machen versucht hat. Eine vollständige Aufzählung aller verschiedenen Modificationen wäre sonach theils unmöglich und theils sehr zwecklos, ich will indessen die Hauptformen und namentlich solche, die mit Vortheil angewendet sind, beschreiben, und bemerke zum Voraus, dass jeder Bohrer an einem Stiele befestigt ist, der mit demselben Kopfe versehen ist, wie jedes andere Glied des Gestänges und sonach mit allen diesen Gliedern verbunden werden kann. Die Dimensionen der Bohrer sind in den meisten Fällen nach der beabsichtigten Weite des Bohrloches anzuordnen, und nur selten müssen sie innerhalb engeren Grenzen bleiben; wo dieses der Fall ist, soll es bei der Beschreibung erwähnt werden.

Für die Bohrer, die in Erde, Lehm und Sand arbeiten, bildet die in Fig. 18 *a* und *b* dargestellte Form den Haupttypus; sie kommt freilich nur selten vor, doch muss sie zuerst erwähnt werden, weil die andern gewöhnlichen Formen aus ihr hergeleitet sind. Der vollständige cylindrische Mantel ist am Boden durch eine Fläche geschlossen, die sich spiralförmig, wie ein Schraubengang um einen senkrechten Dorn windet; diese Bodenfläche entsteht, indem ein Halbmesser des Cylinders sich um die Axe dreht und dabei gleichmässig längs der Axe sich fortbewegt. In einem leicht trennbaren und doch cohärirenden Grunde schneidet bei eintretender Drehung die Bodenfläche sich schraubenförmig ein, und wie man den Bohrer hebt, so wird die abgeschnittene Erdmasse vollständig unterstützt und getragen, so dass sie nicht herabfallen kann, sondern mit dem Bohrer gehoben wird. Man pflegt indessen diese Einrichtung nicht leicht zu wählen, weil eines Theils die Anfertigung einer solchen Zusammensetzung Schwierigkeiten bietet, und sodann, weil die Reibung und das Ankleben einer zähen Erde auf der Bodenfläche den Gebrauch des Bohrers sehr erschwert; es geschieht dieses immer, wenn der Boden einen vollen Schraubengang oder gar noch mehr darstellt. Dazu kommt noch die Unbequemlichkeit, den Inhalt herauszuschaffen, oder den Bohrer zu leeren. Nur bei reinem Sande verschwinden diese Uebelstände, doch muss der Sand auch nicht zu viel Wasser enthalten, weil er sonst von selbst ausfliesst, was namentlich in der Nähe der Axe leicht erfolgt, wo die Windung am stärksten geneigt ist.

Die gewöhnlichste Form des Erd- oder Brunnenbohrers, die sich auch für einen lehmigen Grund vorzüglich eignet, ist Fig. 19 *a* und *b* in Seitenansichten und Fig. 19 *c* im Grundrisse dargestellt. Die Cylinderfläche ist nicht ganz geschlossen, es fehlt vielmehr der zehnte bis der dritte Theil derselben und zwar kann das letzte bei einem sehr zähen Thone geschehen, während eine stärkere Sandbeimischung eine vollständigere Seitenumschliessung erfordert. Die Bodenfläche stellt noch ungefähr einen Theil eines Schraubengewindes dar, doch ist sie meist sehr unregelmässig geformt und besonders pflegt die Steigung in der Nähe der Axe viel geringer auszufallen, indem das Blech nicht genug ausgeschmiedet wird und zu flach bleibt. Man pflegt an dem Boden eine etwas vortretende Zunge *D* anzubringen, welche zuweilen den Schraubengang zu einer vollen Windung ergänzt, während der Cylindermantel die weite Spalte behält; diese Spalte ist aber zum Leeren des Bohrers nothwendig. John Good brachte bei diesem Instrumente noch die Aenderung an, dass er die Bodenfläche nicht annietbete, wie es gewöhnlich geschieht, sondern er sie vielmehr durch Schrauben gegen die Cylinderfläche befestigte, wie Fig. 20 zeigt, wodurch er den Vortheil erreichte, dass er die Zunge *D*, die beim Gebrauche immer am meisten leidet, sobald es nöthig ist, schärfen, auch wohl frisch verstählen konnte.

Die Befestigung der Bodenfläche an die Cylinderfläche ist indessen immer als eine schwache Stelle im Bohrer zu betrachten, und man hat daher in neuerer Zeit in Frankreich die Abänderung eingeführt, dass man durch Krümmung die eine Fläche in die andere übergehen lässt, ohngefähr in der Art, als wenn der Cylinder durch eine Halbkugel geschlossen wäre; denkt man nun aber, dass der Quadrant, der durch seine Drehung um die Axe die Halbkugel erzeugt, bei dieser Drehung auch gleichmässig längs der Axe fortrückt, so entsteht der erwähnte Bohrer, den Fig. 21 in der Seitenansicht zeigt und für welchen Fig. 19 *c* wieder den Grundriss darstellt.

Bei einem sehr zähen Klaiboden pflegt man das Bohrloch nicht gleich in der vollen Weite zu eröffnen, sondern vielmehr ein 3 bis 4 Zoll weites Loch vorzubohren und dieses später zu vergrössern. Zum Vorbohren dient der Bohrer Fig. 22 *a*, *b* und *c*, der mit dem gewöhnlichen Löffelbohrer der Zimmerleute genau

übereinstimmt und der eigentlich auch wieder nichts anderes ist, als der eben erwähnte abgerundete Erdbohrer (Fig. 21). Auch er hat den cylindrischen Mantel, die Bodenfläche und die vortretende Zunge *D*, und unterscheidet sich hauptsächlich nur dadurch, dass die Umschliessung nur zur Hälfte stattfindet.

Der zur Erweiterung dienende Bohrer muss unten in eine Spitze auslaufen, damit er sich immer in die Axe des engeren Bohrloches einstellt, und insofern er von dem zähen Thone nur dünne Schalen abschneidet, so haften dieselben an ihm, wenn er auch noch bedeutend weniger, als den halben Cylinder umfasst. Fig. 23 *a*, *b* und *c* zeigt einen solchen. Zuweilen schneidet man von diesem Bohrer auch noch die Hinterfläche des Löffels aus, so dass nur der vordere Reif übrig bleibt, der noch immer nicht nur schneidet, sondern auch den abgeschnittenen Thon festhält; um aber das Anhaften zu vermehren, hat man diesem erwähnten Reifen zuweilen verschiedene Biegungen und scharfe Brüche oder Falten gegeben. Andererseits aber hat man die Löffelform auch ganz verlassen und beide Schenkel des Reifen mit Schneiden versehen, so dass sie bei der Drehung des Bohrers gleichmässig zur Wirksamkeit kommen. Fig. 24 *a* und *b* zeigt diese Form.

Bei der Ausführung von Bohrlöchern in einem festen Lehm- oder Thonboden wird es indessen häufig nöthig, den Bohrer selbst um einige Zolle zu verbreiten. Um nämlich das Einstürzen der Wände in den abwechselnd vorkommenden losen Schichten zu verhindern, kann man die Futterröhre nicht entbehren; der innere Durchmesser derselben bestimmt die Breite des Bohrers, aber bei sehr zähem Klaiboden kann man eine lange Futterröhre nicht herabbringen, wenn das Bohrloch nicht ungefähr eben so weit ist, als diese Röhre im äussern Umfange. Der Bohrer muss sich also auf Dimensionen zurückbringen lassen, die geringer sind, als die, welche er dem Bohrloche giebt. Am einfachsten wird diese Aufgabe gelöst, wenn man statt Futterröhren viereckige Kasten anwendet, denn bei denselben kann man immer Erweiterungsbohrer gebrauchen, die wenig kleiner als die innere Diagonale des Kastens sind, und der Kreis, der damit beschrieben wird, enthält denselben, und oft noch einen grössern Flächenraum als das Quadrat, welches den äussern Umfang des Kastens bildet.

Beim Gebrauche von Röhren muss unter solchen Verhältnissen der Bohrer mit der Vorrichtung zur Erweiterung versehen sein, doch pflegt er in diesem Falle das gelöste Material nicht mehr zu heben, sondern es nur in das frühere Bohrloch herabzustürzen, das sonach immer aufs Neue geräumt und aufgebohrt werden muss. Eine hierher gehörige Vorrichtung, die **Krebsscheere** genannt, zeigt Fig. 25 *a* und *b* in zwei Seitenansichten und *c* im horizontalen Querschnitte. Die beiden Schenkel des oben erwähnten Reifen (Fig. 24) sind von einander getrennt und wie die beiden Füsse eines Tastercirkels durch ein Charnier befestigt. Zwei Federn drücken sie auseinander, während durch Anbringung zweier Bolzen *F* dafür gesorgt ist, dass sie nicht zu weit sich zurücklegen können, was bei der Form der Schneiden leicht erfolgen müsste. Es ergiebt sich aus der Zeichnung, wie beim Zurückziehen die Schenkel sich von selbst anlegen und wie die Schneiden die Röhre nicht verletzen können. Mittelst dieser Vorrichtung kann man Bohrlöcher darstellen, die um 2 bis 3 Zoll weiter sind, als der innere Durchmesser der Futterröhre, und hierdurch allein wird es möglich, einen Röhrenstrang recht weit herabzutreiben.

Fig. 26 *a*, *b* und *c* zeigt endlich eine andere Vorrichtung, die zu demselben Zwecke dient. Zwei sichelförmig gebogene Arme drehen sich horizontal um zwei Axen, so dass sie entweder eingeschlagen werden können (Fig. *b*) oder sie weit vorstehen (Fig. *c*). In der ersten Stellung werden sie durch die Futterröhre herabgelassen, und indem das Gestänge auf den Boden des Bohrloches fest aufgestellt wird, so drücken sich die Spitzen dieser Arme, die besonders tief herabreichen, in den Boden ein. Dreht man nun das Gestänge vorwärts, so öffnen sich die Arme, wie Fig. *c* zeigt, und beim Zurückdrehen schliessen sie sich wieder, so dass man sie durch die engere Röhre hindurchziehen kann. Bei hölzernen Futterröhren von bedeutender Wandstärke thut dieses Instrument gute Dienste, es kann jedoch nur in dem Falle angewendet werden, wenn das Gestänge ein Rückwärtsdrehen erlaubt, und ausserdem tritt noch der Uebelstand hierbei ein, dass nicht ein allmähliges Eingreifen der Arme erfolgt, wie bei der in Fig. 25 dargestellten Vorrichtung, sondern dass die Arme mit einem Male ausgespannt werden müssen und sie dann einen sehr starken Widerstand erfahren.

Die sämmtlichen bisher erwähnten Bohrer finden in zäher Erde ihre Anwendung, sie zeigen sich indessen in reinem Sande unbrauchbar, indem solcher mit ihnen nicht gehoben werden kann. Der Bohrer Fig. 18 allein macht hiervon eine Ausnahme, doch hebt er auch nur in dem Falle den Sand, wenn derselbe eben nur feucht und daher ziemlich fest ist. Gemeinhin füllt sich aber das Bohrloch mit Wasser, und wie man den Bohrer herauszieht, so strömt das Wasser hindurch und spühlt dabei den Sand aus, so dass der Bohrer ganz rein und leer oben zum Vorschein kommt. Aus diesem Grunde muss der Sand an einer Stelle im Bohrer aufgefangen werden, wo er vom durchströmenden Wasser nicht fortgespühlt werden kann. Dieses geschieht am häufigsten, indem eine cylindrische Röhre mit einem Ventile unten versehen ist; man nennt diese Vorrichtung den Löffel, und sie gehört zu denen, die beim Brunnenbohren am meisten gebraucht werden. Das Ventil wird am vortheilhaftesten an einem eisernen abgedrehten Ringe angebracht, der von unten in die Blechröhre gesteckt und mit Seitenschrauben befestigt wird; auf diese Art ist man im Stande, so oft es nöthig ist, das Ventil herauszunehmen und es zu repariren. Gewöhnlich besteht es aus einem einfachen Klappenventile (Fig. 27), zuweilen aus einem doppelten Ventile, bei dem jede Klappe den Halbkreis umfasst und wo die Axen möglichst nahe an einander liegen (Fig. 28). Häufig wird aber auch zum Schlusse der Oeffnung eine Kugel angewendet (Fig. 29), die so ajüstirt ist, dass ihr specifisches Gewicht ungefähr das Doppelte von dem des zu hebenden Sandes (und zwar mit Rücksicht auf die Beimischung von Wasser) beträgt. Damit aber die Kugel nicht zu weit heraufgehoben werden kann, wird sie durch einen Bügel in der Nähe des Ventils zurückgehalten. Der Gebrauch dieses Instrumentes ist nun der, dass die Röhre abwechselnd gehoben und gesenkt wird; sie setzt dadurch das im Bohrloche befindliche Wasser in starke Bewegung und mit diesem auch den Sand am Boden des Bohrloches. Letzterer dringt zugleich mit dem Wasser beim Niederfallen der Röhre in dieselbe ein, aber sobald die Röhre wieder gehoben wird, kann er wegen des geschlossenen Ventils nicht entweichen. Beim nächsten Niederfallen tritt eine neue Quantität Sand dazu und es füllt sich nach und nach die Röhre. Nach 20 bis 30 Stössen zieht man die Röhre

heraus und mit ihr den hineingedrungenen Sand. Eine besondere Vorrichtung zum Auflockern des Sandes ist nicht erforderlich, man kann vielmehr allein durch diese Röhre die Vertiefung des Bohrloches bewirken, damit man aber wirklich auf die Vertiefung hinwirkt und nicht etwa den Sand von den Seiten löst, so muss man recht häufig die Futterröhre nachtreiben und sogar dahin sehen, dass die Röhre dem Bohrer vorangeht. Degousée führt an, dass er mit diesem Apparate aus einer Tiefe von 100 Meter täglich noch über einen Cubikmeter ($32\frac{1}{3}$ Cubikfuss) leichtflüssigen Sand gehoben hätte.

Zur Hervorbringung eines bessern Schlusses hat man der Röhre zuweilen zwei Ventile, nämlich eines oben und eines unten, gegeben, und in England ist dieses Instrument noch in der Art verändert, dass es eine vollständige Saugepumpe wird, wie Fig. 30 zeigt. Das Bohrgestänge ist zugleich Kolbenstange, und um daran das Rohr sicher herablassen und heben zu können und um zugleich die Höhe des Zuges auf gewisse Grenzen zu beschränken, so sind zwei Bundringe *E* an der Kolbenstange befestigt, und zwischen beiden wird letztere durch einen Steg *F* umfasst, der sie zugleich in der Axe des Rohrs erhält. Bewegt man das Gestänge auf und ab, so dringt das Wasser mit Sand vermengt unten ein; indem der Sand aber zur Ruhe kommt, so wird oben aus dem Rohre vorzugsweise nur Wasser ausgehoben und der Sand füllt nach und nach die Pumpe an, worauf man sie heraushebt und ausschüttet.

Endlich muss noch erwähnt werden, dass man zuweilen diese Röhre, wenn sie unmittelbar an dem Gestänge befestigt ist, unter dem Ventile noch mit schraubenförmig gewundenem Boden und einer vorstehenden Zunge versieht. In diesem Falle muss sie gedreht werden wie der Erdbohrer und sie wirkt genau in gleicher Art wie dieser; das Aufsteigen des Sandes wird freilich durch das Ventil merklich erschwert, dagegen schliesst sich aber auch das Ventil, sobald der Bohrer nicht weiter in den Boden eindringt, und sein Inhalt kann sonach beim Ausheben des Bohrers nicht fortgespühlt werden.

Eine andere Vorrichtung zum Heben des reinen Sandes zeigt Fig. 31; sie besteht in einem conischen Eimer, der unten mit einem Schraubengange versehen ist, damit er beim Drehen von

selbst in den Boden eindringt. Dieser Schraubengang ist zuweilen, wie er hier dargestellt ist, mit keiner Spindel verbunden und wie ein Korkzieher geformt, zuweilen aber bringt man ihn auch am Umfange des Eimers an. Bei der erwähnten Drehung erfolgt eine starke Auflockerung des Sandes, namentlich wenn das Bohrloch schon mit Grundwasser angefüllt ist, und hierdurch wird es möglich gemacht, den Eimer in seiner ganzen Höhe in den Sand zu versenken; ist dieses geschehen, so stürzt der Sand von oben hinein und füllt den Eimer. Der Gebrauch dieses Instrumentes ist immer für das Gestänge ziemlich angreifend, indem der Widerstand, den der Sand leistet, sehr stark ist, und man muss jedenfalls durch wiederholtes Heben des Bohrers möglichst auf die Auflockerung des Sandes hinzuwirken suchen.

Bei der Bohrung eines Brunnens zu Calais versagten, wie Garnier erzählt, die sonst üblichen Werkzeuge in dem flüssigen Sande bei einer Tiefe von 70 Fuss ihren Dienst, es glückte aber mit dem Taf. III. Fig. 32 *a* im Durchschnitte und *b* im Grundrisse dargestellten Apparate die Vertiefung viel weiter zu treiben. Dieses Instrument ist jedoch nur bei Benutzung von vierseitigen Kasten, nicht aber bei cylindrischen Futterröhren anzuwenden, indem der äussere Theil desselben an der Drehung des mittleren nicht Theil nehmen darf. Das Gestänge geht unten in die Spindel einer flachen Schraube über und diese allein wird in drehende Bewegung versetzt; sie bewegt sich dabei in einer cylindrischen Röhre ohne Boden; diese Röhre bildet aber die innere Wand eines vierseitigen Eimers, der in der vierseitigen Ausfütterung des Bohrloches auf dem Boden desselben aufsteht. Dreht man das Gestänge vorwärts, so dringt die Schraube mit Leichtigkeit in den Sand ein, und zwar so lange, bis der obere Bundring an der Spindel gegen die Kreuzbügel des Eimers stösst. Sobald dieses erfolgt, wird das Drehen des Gestänges viel schwerer und man hebt nun dasselbe zugleich mit der Schraube auf, bis der untere Bundring wieder den Bügel trifft. Der auf dem Schraubengewinde liegende Sand konnte wegen der Nähe der Röhre nicht sogleich herabfallen, sobald er aber über die Röhre herausgehoben ist, so stürzt er in den Eimer. Man lässt aufs Neue das Gestänge herab, dreht es und wiederholt diese Operation etwa 12 Mal, worauf man das Gestänge und mit demselben zugleich den am untern Bundringe

hängenden Eimer heraushebt. Letzterer kann für die in der Zeichnung angenommenen Dimensionen über einen Cubikfuss fassen, und sonach gehört dieses sehr sinnreich ausgedachte Werkzeug zu denen, die besonders die Arbeit fördern.

Für das Bohren in Felsen müssen Apparate angewendet werden, die von den beschriebenen wesentlich verschieden sind; ein weicher Kalkstein wie Kreide lässt sich wohl noch mit dem Bohrer Fig. 22 durchschneiden, und die Erweiterung des Loches erfolgt mit dem Trepanierbohrer Fig. 33 *a* und *b*; bei festeren Gesteinen hört aber das eigentliche Bohren oder das Drehen des Gestänges auf, und man kann nur durch das wiederholte Aufstossen scharfer und gut verstählter Meissel das Bohrloch darstellen. Das ganze Gestänge muss hierbei durch besondere Vorrichtungen, die weiterhin beschrieben werden sollen, immer aufs Neue gehoben werden, und indem es herabfällt, den Stoss ausüben. Die Verbindungen zwischen den einzelnen Gliedern werden dabei stark angegriffen, und man hat besonders darauf zu sehen, dass eine innige Verbindung zwischen recht grossen Berührungsflächen stattfindet; alle gabelförmigen Verbindungen werden daher in diesem Falle bedenklich. Die Meissel oder die Steinbohrer dürfen nicht in feine Schneiden ausgehen, sondern die letzten Flächen, deren Durchschnitt eben die Schneide bildet, müssen sich unter Winkeln von 45 Grad treffen. Die Abnutzung und das Stumpfwerden der Schneiden erfolgt besonders schnell, wenn das angegriffene Gestein trocken ist, man muss daher, sobald sich im Bohrloche nicht von selbst Wasser ansammelt, solches recht häufig zugiessen. Die Enden der Schneiden an den Meisseln sind vorzugsweise einer starken Abnutzung ausgesetzt, und dieses ist der Grund, weshalb bei Anwendung desselben Bohrers ein Bohrloch nach unten zu immer enger zu werden pflegt; um dieses zu vermeiden, müssen die Meissel bei jeder Instandsetzung auf ihre ursprüngliche Breite wieder ausgeschmiedet werden. Damit aber das Loch gehörig rund wird, muss in den meisten Fällen auch auf eine regelmässige geringe Drehung des Gestänges Bedacht genommen werden, welche indessen durch einen einzelnen Arbeiter immer leicht bewirkt werden kann, der mit einem Hebel das Gestänge hin und her dreht. Das gelöste Material kann durch die Steinbohrer selbst nicht gehoben werden, es sammelt sich daher als feiner Sand und

oft als dicker und zäher Schlamm im Bohrloche an, wodurch nach und nach die gehörige Wirkung des Bohrers verhindert wird. Zur Entfernung desselben dienen die oben beschriebenen Instrumente und besonders die Löffel Fig. 27, 28 und 29.

Fig. 34 zeigt den Meisselbohrer oder einen einschneidigen Meissel. Dieses Instrument wird am häufigsten benutzt. Man pflegt demselben gemeinhin nicht eine gerade, sondern eine etwas convexe Schneide zu geben, damit es sich um so sicherer in der Axe des Bohrloches hält. Bei einer Breite von mehr als drei oder vier Zollen wirkt es nicht mehr mit Vortheil, daher dient es bei weiteren Bohrlöchern nur zum Vorbohren, man hat es aber in England und in Frankreich sehr bequem gefunden, den Erweiterungsbohrer gleich mit dem ersten Bohrer zu verbinden, wie Fig. 35 zeigt. Neben dem engeren Bohrloche ist die Cohäsion des Gesteines schon einigermaassen aufgehoben, und die Flügel, welche eben die Erweiterung bewirken, arbeiten daher um Vieles leichter. Die Verbindung beider Operationen, nämlich des Vorbohrens und des Erweiterns, gewährt aber noch den Vortheil eines sehr genauen Centrirens beider Bohrlöcher.

Der Kreuzbohrer, den Fig. 36 *a* in der Ansicht von der Seite und *b* von unten zeigt, besteht aus zwei sich kreuzenden Meisselbohrern. Bei Anwendung des festen Gestänges, wo der Bohrer regelmässig umgesetzt oder gedreht wird, hat er vor dem einfachen Meisselbohrer keinen wesentlichen Vorzug, und seine Anfertigung, sowie das Aufschärfen sind um Vieles schwieriger. Noch mehr ist dieses bei dem Kronenbohrer Fig. 37 *a* und *b* der Fall, der aus 6 sich kreuzenden Schneiden besteht. Indem dieser Bohrer beinahe den ganzen Querschnitt des Bohrloches füllt, so würde das darin enthaltene Wasser nur mit Mühe ausweichen können und sonach den Stoss beinahe ganz aufheben, wenn man nicht vier Löcher in dem Bohrer selbst angebracht hätte, durch welche das Ausweichen des Wassers etwas erleichtert wird.

Fig. 38 *a*, *b* und *c* stellt einen Kronenbohrer mit beweglichen Schneiden dar, und zwar *a* in der Seitenansicht, *b* im Durchschnitte und *c* in der Ansicht von unten. Er hat den Vorzug, dass die einzelnen Meissel leichter in der gehörigen Form dargestellt und geschärft werden können, wogegen die Verbindung derselben jedenfalls weniger sicher ist. Jeder Meissel ist, wie

Fig. *b* zeigt, oben mit einem Zapfen versehen, welcher in ein Zapfenloch der Bohrspindel passt; unten lehnen die Meissel sich so gegen einander, dass ein Verschieben möglichst verhindert wird, und ein starker eiserner Ring, der recht fest aufgetrieben und durch ein Splint gehalten wird, giebt der ganzen Verbindung Festigkeit. Diese Einrichtung ist bei Anwendung der Methode des Seilbohrens in Saarlouis und in der Umgegend benutzt worden.*)

Fig. 39 *a* und *b* zeigt eine andere ähnliche Zusammenstellung, die in Frankreich vorkommt; auf der Bohrspindel, die unten in dem Meisselbohrer zum Vorbohren ausläuft, ist eine starke gusseiserne Scheibe aufgesteckt und in dieser sind am Umfange mittelst Zapfen und Splinten die verschiedenen Meissel befestigt. Nach der Zeichnung sind die letzteren nicht nur in der Richtung des Radius aufgestellt, sondern abwechselnd stehen sie auch in der Richtung der Peripherie, wodurch sie besonders auf das Entfernen der einzelnen vorstehenden Felsenecken hinwirken. Man kann indessen auch in allen Zapfenlöchern Schneiden nach der letzten Richtung aufstellen, und zwar so, dass sie sich beinahe berühren, was besonders bei Anwendung der Methode des Seilbohrens zum Aufräumen und Abrunden der Bohrlöcher nöthig ist. Es darf kaum erwähnt werden, dass mittelst der in Fig. 38 dargestellten Verbindung sich ein Kranz von Schneiden in der letzten Art gleichfalls befestigen lässt, wie dieses bei Saarlouis auch geschehen ist.

Fig. 41 zeigt in perspectivischer Ansicht eine kreisförmige Schneide, oder eine sogenannte Büchse, welche zum Ebenen und Ausrunden von engen Bohrlöchern dient. Die Bohrspindel, woran der stählerne Ring aufgeschroben ist, muss mit einigen Oeffnungen versehen sein, damit das Wasser mit Leichtigkeit ausweichen kann. Hat die Schneide dagegen die in Fig. 40 dargestellte Form, in welchem Falle man sie einen S-Bohrer zu nennen pflegt, so bohrt sie nicht nur, sondern sie rundet auch zugleich die Wände ab, und diese Einrichtung wird bei engeren Bohrlöchern für besonders bequem und brauchbar gehalten.

*) Die Bohrmethode der Chinesen, oder das Seilbohren, von Frommann. Coblenz 1835.

Zuweilen trifft es sich, dass man auch im Felsenboden die Futterröhren nicht entbehren kann, und namentlich, wenn das Gestein stark abbröckelt und dadurch das Bohrloch immer von Neuem verschüttet wird. Wenn dieses geschieht, so muss das Bohrloch in einer Weite ausgeführt werden, welche den äussern Durchmesser der Futterröhre übertrifft. Der Bohrer, der durch die Futterröhre eingesetzt wird, muss sich also wieder ausbreiten, sobald er aus der Röhre tritt, und dazu dient eine Vorrichtung, welche der in Fig. 25 dargestellten sehr ähnlich ist und sich nur insofern davon unterscheidet, dass die beiden Schenkel, die durch Federn seitwärts herausgedrängt werden, in zwei Schneiden auslaufen und wie Meissel wirken; damit sie aber dem Stosse widerstehen können, so müssen sie oben gehörig abgerundet sein und in einer genau entsprechenden Pfanne aufstehen, wodurch die Beschädigung des Bolzens, der die eigentliche Drehungsaxe bildet, vermieden wird. Ausserdem verdient auch noch bemerkt zu werden, dass man in Frankreich diesen Bohrer noch mit dem einfachen Meissel zum Vorbohren verbindet.

Es ist bereits erwähnt worden, dass das Gestänge beim Bohren im Felsen von dem immer wiederholten Aufstossen stark leidet, und dieses ist vorzugsweise der Fall, wenn das Gestänge bereits eine sehr grosse Länge erreicht hat und dadurch seine Steifigkeit sehr geringe geworden ist. Zur Beseitigung dieses Uebelstandes wurde zuerst bei Ausführung des Bohrloches zu Neusalzwerk bei Rehme und demnächst auch bei Artern ein Wechselstück in das Gestänge eingebracht, welches den oberhalb desselben befindlichen Theil dem Stosse entzieht, ohne die regelmässige Drehung des Bohrers zu beeinträchtigen. Diese Einrichtung hat sich beide Male sehr vortheilhaft gezeigt. *) Dieses Wechselstück ist Fig. 42 *a* in der Seitenansicht und *b* im Querschnitt nach der Linie *AA* dargestellt. Der mit dem untern Theile des Gestänges verbundene Theil dieses Apparats, der beim Aufstossen des Bohrers allein die Erschütterung erleidet, ist in der Figur durch Schraffirung markirt, und man bemerkt leicht, wie beim erfolgenden Aufstossen der obere Theil an jenem herabgleitet,

*) Vergl. den bereits erwähnten Aufsatz: die Bohrarbeit zu Artern von v. Dechen im 12. Bande des Archivs von Karsten und v. Dechen.

ohne in seiner Bewegung plötzlich gehemmt zu werden. Es ist aber zu bemerken, dass man dem untern Theile des Gestänges unter dem Wechselstücke immer noch eine Länge von mehr als 100 Fuss zu lassen vortheilhaft gefunden hat.

Bei allen Bohrarbeiten ereignen sich zuweilen Brüche im Gestänge oder in den Bohrern selbst, oder aber es stürzen durch Unvorsichtigkeit Theile des Apparats in das Bohrloch herab, und oft genug geschieht es auch, dass einzelne Steine aus den Seitenwänden gelöst werden, wobei jedesmal diese Gegenstände zuerst entfernt werden müssen, bevor man die Arbeit fortsetzen kann. Hierzu dienen die Fange-Instrumente. Der Gebrauch derselben besteht immer in einem sehr unsichern und oft lange Zeit hindurch fortgesetzten Probiren, bevor es gelingt, den gesuchten Gegenstand sicher zu fassen und heraufzuziehen, und nicht selten muss man sich am Ende begnügen, ihn so weit seitwärts zu drängen und ihn nöthigenfalls auch noch zu zerschlagen oder zusammenzudrücken, so dass er die Fortsetzung der Arbeit nicht weiter behindert. Jedenfalls muss man mit einer genauen Untersuchung der Tiefe, wo der obere Theil des zu entfernenden Körpers steckt, den Anfang machen, und zwar muss diese Ermittelung bis auf einzelne Zolle genau ausgeführt werden. Alsdann befestigt man scharfe Visitireisen oder schmale Meissel an das Gestänge und untersucht, ob neben dem fraglichen Körper hinreichender Raum vorhanden ist, um das Fange-Instrument eingreifen zu lassen, und wenn dieser Raum nicht vorhanden ist, so muss er zuerst durch Erweiterung des Bohrloches an dieser Stelle dargestellt werden. Der grösste Uebelstand ist, dass bei eintretendem Stangenbruche auch meist eine Verbiegung der Stange neben dem Bruche erfolgt, und dann drängt sich gewöhnlich das abgebrochene Ende so stark seitwärts und wird auch so fest in dieser Stellung gehalten, dass die wirksamsten Fange-Instrumente es gar nicht fassen können. In diesem Falle sucht man es mit dem noch näher zu beschreibenden Haken Fig. 44 in die Mitte des Bohrloches zurückzubringen, und während es gefasst bleibt, füllt man das Bohrloch bis zu dieser Höhe mit Thon an; nach einiger Zeit ist letzterer so fest geworden, dass das Gestänge auch nach der Entfernung des Hakens noch ungefähr in seiner Stelle bleibt. In Bezug auf die Fange-Instrumente muss im Allge-

meinen auch noch bemerkt werden, dass man bei einer beginnenden Bohrarbeit keineswegs ein grosses Assortiment derselben anfertigen lassen darf, weil man doch immer der Gefahr ausgesetzt bleibt, dasjenige nicht zu haben, welches vielleicht vorkommenden Falls das passendste wäre; es ist also zweckmässiger, die Mehrzahl derselben nur in dem Maasse fertigen zu lassen, wie man sie gerade braucht.

Der einfachste Fall ist der, wenn die Verbindung zwischen zwei Gliedern des Gestänges gebrochen ist und es daher nur darauf ankommt, einen Bundring zu fassen. Hierzu dient vorzugsweise der Doppelhaken Fig. 43, in welchen man die Stange unter dem Bunde einzubringen suchen muss. Man hat dabei manche Aenderungen eingeführt und zuweilen die Arme nach unten zu erweitert und ihnen einige Federung gegeben, so dass sie beim Aufstossen sich etwas öffnen und den Bundring zwischen sich durchlassen, während sie beim Heben geschlossen bleiben; diese Anordnung dürfte indessen immer nur in dem Falle vortheilhaft sein, wenn das Gestänge willig folgt und keine grosse Kraft angewendet werden darf, weil sonst die Arme nicht fest genug sein können. Demnächst hat man auch Zangen angewendet, die ähnlich den in der Folge zu beschreibenden Teufelsklauen, beim Fassen eines schweren Körpers sich von selbst schliessen, und zwar hat man ihnen theils zwei und theils vier Arme gegeben; ebenso sind auch Zangen benutzt, die durch besondere Leinen geöffnet oder geschlossen werden. Ich übergehe indessen die Beschreibung dieser Apparate, da sie, von den Dimensionen abgesehen, mit den Teufelsklauen genau genug übereinstimmen und ihre Anwendung beim Brunnenbohren bisher wohl nur als Versuch betrachtet werden muss.

Der spiralförmig gewundene Haken Fig. 44 *a* und *b* ist dagegen von anerkanntem Nutzen und dieses zuweilen selbst in dem Falle, wenn er einen Theil des Gestänges fassen soll, von welchem der Bundring abgebrochen ist. Man lässt den Haken so weit herab, dass er einige Zolle unter dem obern Ende der Stange sich befindet und dreht ihn dann vorwärts; die Spitze des Armes umfasst die Stange und schiebt sie bald so weit, dass bei ihrem quadratischen Querschnitte der Haken sich nicht mehr um sie drehen kann; wenn nun die Drehung noch weiter fortgesetzt wird,

so wird die Stange gewaltsam weiter in den Haken geschoben, bis sie zuletzt bei der stets abnehmenden Weite der Oeffnung fest eingeklemmt ist. Um das Eingreifen sicherer zu machen, ist der Haken aus Stahl geschmiedet und mässig gehärtet, und überdies ist der Querschnitt seines Armes nicht quadratisch, sondern es tritt vielmehr an der innern Fläche die obere Kante merklich vor. Sobald daher bei der fortgesetzten Drehung des Hakens die Stange sich fest gegen den Arm lehnt, so schneidet die erwähnte Kante in sie ein, und gerade dadurch wird die Stange so fest gehalten, dass man das ganze Gestänge loszureissen und zu heben im Stande ist.

Der Fig. 45 dargestellte Apparat, oder der Krätzer, wirkt in gleicher Art wie der eben beschriebene Haken, und es passt auch auf ihn die Bemerkung in Betreff der harten und schneidenden Kante. Man giebt dem Krätzer zuweilen statt des einen gewundenen Armes deren zwei, und in diesem Falle gleicht er seiner Gestalt nach sehr genau dem Krätzer, dessen man sich zum Herausnehmen der Ladungen aus den Flinten bedient. Im Allgemeinen fasst der Krätzer leichter das Gestänge, als der spiralförmige Haken, dagegen hält dieser es sicherer, weil der Arm nicht so leicht ausweichen kann.

Die beschriebenen Apparate halten indessen immer nur dadurch das Gestänge, dass sie an einem, oder doch nur an sehr wenigen Punkten etwas in das Gestänge und zwar in die Kanten desselben einschneiden. Wenn daher das Gestänge fest eingeklemmt ist, so gelingt es nicht mehr, es damit herauszureissen. Fig. 46 zeigt den Durchschnitt eines Instrumentes, welches ähnlich einer Kluppe ein Schraubengewinde am Kopfe der Stange einschneiden soll; es hat zuweilen gute Dienste geleistet, man darf sich indessen immer nicht zu viel davon versprechen, indem es keine scharfe Schneide hat und daher auch nicht sowohl scharfe Gänge ausschneidet, als vielmehr solche nur flach in die Kanten eindrückt. Um das obere Ende der Stange sicher zu fassen, pflegt man der untern Glocke eine Weite zu geben, die dem ganzen Querschnitte des Bohrloches nahe gleich kommt.

In neuerer Zeit hat man in England den Fig. 47 dargestellten Apparat zum Fassen des Gestänges sehr brauchbar und sicher gefunden. In der hohlen Büchse, in die man den Kopf

der Stange hineinbringen muss, befindet sich ein kurzer Arm, der um eine horizontale Axe sich auf und ab bewegt, jedoch verhindert wird, eine horizontale, und noch mehr, eine abwärts geneigte Stellung einzunehmen. Dieser Arm besteht aus wohlgehärtetem Stahle und ist vorn mit scharfen Kanten und scharfen Hauschlägen versehen; er lehnt sich seitwärts gegen eine Pfanne, so dass bei seiner Spannung der Druck nicht durch die Axe übertragen, sondern unmittelbar auf die starke eiserne Büchse ausgeübt wird. Sobald der Arm die niedrigste Stelle eingenommen hat und er dadurch die Oeffnung der Röhre am meisten beengt, so muss der noch übrigbleibende Zwischenraum etwas geringer als die Stärke der zu fassenden Stange sein. Der Gebrauch des Instrumentes ist nun der, dass man den Kopf der Stange in die Röhre hineinzubringen sucht, der erwähnte Arm hebt sich dabei etwas, so dass er das Eintreten der Stange nicht hindert, sobald die Büchse aber wieder gehoben wird, so klemmt er sich gegen die Stange, und häufig bringt man auch noch eine starke Feder an, die ihn herabdrückt; er greift nun mit der untern scharfen Kante und mit den Hauschlägen in die Stange, und je grösser die Kraft ist, womit die Büchse aufwärts gezogen wird, um so tiefer dringt er ein und um so fester hält er sie. Die Wirksamkeit des Instrumentes hängt nur von der genauen und soliden Ausführung ab, damit kein Theil nachgiebt und der Arm in der gehörigen Entfernung von der gegenüberliegenden Wand absteht. Wenn das Bohrloch weit genug ist, so erweitert man auch wohl die Büchse und bringt zwei gegenüberstehende Arme an, die sich gegenseitig stemmen; man erreicht dadurch den Vortheil, dass die Last in die Axe des Gestänges gebracht wird, aber es wird dann nöthig, die beiden Arme möglichst gleichmässig zum Angriffe zu bringen, denn wenn einer von beiden gleich Anfangs die Stellung eingenommen hätte, die der horizontalen am nächsten ist, so möchte bei Anwendung einer grossen Kraft der Bruch desselben leicht erfolgen, und dieses deshalb, weil die Stange an seinem rauhen und harten Kopfe nicht gleiten kann. Eben diese Vorrichtung pflegt man auch anzuwenden, wenn das Gestänge sich sehr fest geklemmt hat, ohne gebrochen zu sein und man es mit dem sonstigen Hebezeuge nicht lösen kann. Ein starker eiserner Schuh, auf dem die beiden erwähnten Arme ruhen, ist über dem

Bohrloche an dem kurzen Arme eines sehr langen und starken Hebels befestigt; durch Auf- und Abbewegen des letzteren kann man, so lange die Klemmung dauert, das Gestänge sehr sicher fassen und mit grosser Kraft heraufziehen.

Mit dem eben beschriebenen Fange-Instrumente stimmt wesentlich das Fig. 48 im Durchschnitte dargestellte überein, dessen man sich in Frankreich zu bedienen pflegt. An der viereckigen eisernen Stange, welche sich an das Gestänge anschliesst, sind zwei Platten mittelst Schraubenbolzen befestigt, von denen man hier aber nur die hintere sieht, indem die vordere abgenommen gedacht ist; an denselben sind bei *E* zwei gezahnte, excentrische stählerne Rädchen angebracht, die hier die Stelle der obigen stählernen Arme versehen, und auch diese sind nicht nur durch Bolzen in der Axe befestigt, sondern sie lehnen sich noch unterwärts gegen zwei eiserne Keile *F*, die zugleich eine solide Verbindung der beiden Platten bilden und noch dazu dienen, das obere Ende des abgebrochenen Gestänges einzuführen. Damit aber die Rädchen die eintretende Stange gleich fassen, so werden sie noch durch zwei Stahlfedern mit ihrem obern Theile angedrückt und auf diese Art kommen sie sehr bald zum gehörigen Eingriffe.

Dieses sind die gewöhnlichsten Fange-Instrumente, deren man sich zum Fassen des Gestänges und der Bohrer bedient; sind kleinere Theile, etwa kurze Bolzen, Schraubenmuttern und dergl. herabgefallen, so gelingt es in der Regel, sie mit dem Erdbohrer Fig. 19 und 21 herauszuschaffen. Auch der Krätzer Fig. 45 hebt, besonders wenn er mit zwei Armen versehen ist, leichte und passend geformte Gegenstände sehr sicher; mit demselben gelingt es gewöhnlich auch, einzelne Steine, die in das Bohrloch herabgefallen sind, zu fassen. Zu dem letzten Zwecke wendet man auch den Fig. 49 dargestellten Apparat an, der in Federn besteht, die mit Widerhaken versehen sind; stösst man ihn über den Stein, der gehoben werden soll, so werden die Federn etwas auseinander gebogen und legen sich an den gefassten Gegenstand an, während die Haken das Auslösen desselben verhindern.

Endlich muss hier noch erwähnt werden, dass, wenn die herabgestürzten Theile des Gestänges, oder Stücke von eisernen Futterröhren, oder sonstige Apparate sich im Bohrloche so fest geklemmt haben, dass alle erwähnten Fange-Instrumente sie nicht

fassen noch heben können; dass alsdann noch das Mittel bleibt, durch passend geformte grosse Feilen, die am besten eine birnförmige Gestalt erhalten und welche am Gestänge befestigt werden, das Eisen zu zerfeilen und dadurch das Hinderniss zu entfernen.

§. 12.

Artesische Brunnen: Futterröhren.

Ein aufgeschwemmter Boden, besonders wenn er sandig und kiesig ist, stürzt beim Abbohren eines cylindrischen Loches sehr bald nach, und dieses geschieht auch bei einem Felsboden, der aus einem leicht abbröckelnden Gesteine besteht; in beiden Fällen muss man daher die Verschüttung des Bohrloches und das Einstürzen der Wände durch eine Einfassung der letztern zu verhüten suchen. Diese Einfassung, welche demnach den Zweck hat, während des Bohrens das angefangene Bohrloch gegen Verstürzung zu sichern, kann unter den angedeuteten Verhältnissen nicht entbehrt werden, und nur in festem Felsboden ist sie überflüssig, während man sie in zähem Klaiboden auch zuweilen fortlässt, da dieser einige Zeit hindurch in senkrechten Wänden steht; im letzten Falle muss man aber die sichere Aussicht haben, die gesuchten Quellen bald zu erreichen und folglich die Steigröhren früher einsetzen zu können, ehe der Thon eingestürzt ist.

In demselben Maasse, wie die Tiefe des Bohrloches zunimmt, muss auch die Futterröhre, die man auch Bohrröhre oder Bohrteucher nennt, nach kurzen Zwischenräumen immer weiter nachgetrieben werden, so lange ihre Anwendung überhaupt nothwendig ist; sie muss daher die Einrichtung haben, dass sie willkührlich verlängert werden kann. Das Herabtreiben geschieht entweder mittelst einer Ramme oder durch todten Druck; in beiden Fällen wird die Röhre stark angegriffen und sie muss daher in allen Theilen eine hinreichende Festigkeit besitzen. Die möglichste Schonung der Futterröhre und die Beseitigung der Hindernisse, welche ihrem weiteren Eindringen entgegentreten, ist eine der wichtigsten Rücksichten, die beim Bohren der Artesischen Brunnen überhaupt zu nehmen sind. Der Widerstand, den der umgebende Boden ausübt, lässt sich aber einigermaassen dadurch vermindern, dass man aus dem Bohrloche die Erde nicht seitwärts drängt,

wie dieses geschehen würde, sobald die Futterröhre wie ein Pfahl zugespitzt wäre, sondern dass man im Gegentheile die Erde von den Seiten nach der Mitte des Bohrloches zu schieben sucht, von wo man sie mittelst der Bohrer immer ausheben kann. Aus diesem Grunde erhält das untere Ende oder der Schuh der Futterröhre eine nach aussen vortretende Schneide, die gewöhnlich noch einen halben Zoll vor der Fläche der äussern Wand vorspringt. Nichts desto weniger wird das Herabtreiben der Futterröhre mit der zunehmenden Länge immer schwieriger und es tritt zuletzt ein Zeitpunkt ein, wo dasselbe entweder unmöglich wird, oder doch wenigstens mit Gefahr für die Röhre verbunden ist. Wenn unter diesen Umständen die Einfassung des Bohrloches auch weiterhin noch nothwendig ist, so muss man eine neue Futterröhre, die gleich Anfangs die ganze Länge der ersten hat und sich mit einigem Spielraume in derselben bewegt, hineinstellen. Diese erleidet in dem Theile, wo sie von der ersten umgeben wird, keine merkliche Reibung und sie lässt sich daher unter gleichen Verhältnissen fast zur doppelten Tiefe der ersten herabtreiben; ebenso kann man eine dritte Röhre einsetzen u. s. w.; es giebt Fälle, dass man bis fünf derselben anzubringen gezwungen war. Es folgt hieraus aber die Nothwendigkeit, dass man gleich Anfangs passende Dimensionen für die Futterröhre wählt und in zweifelhaften Fällen solche lieber zu gross als zu klein annimmt, damit die letzten nicht zu enge ausfallen dürfen.

Eine hölzerne ausgebohrte Röhre dient in vielen und vielleicht in den meisten Fällen als Einfassung des Bohrloches; es fehlt einer solchen keineswegs an Festigkeit, dagegen bedarf sie aber immer einer grossen Wandstärke, woher einerseits das Bohrloch bedeutend erweitert werden muss und andererseits wieder das Einschieben einer zweiten ähnlichen Röhre in die erste nicht möglich ist. Dazu kommt noch, dass die Anbringung von Verlängerungen auch unsicher bleibt. Hiernach beschränkt sich die Anwendung der hölzernen cylindrischen Einfassungen auf die Fälle, wo die Einfassung des Bohrloches überhaupt nur auf eine geringe Tiefe erforderlich ist. Zuweilen hat man auch die Bohrarbeit in einer solchen begonnen und später Röhren aus Eisenblech hindurchgeschoben, wie dieses z. B. bei der Bohrung in Artern geschehen ist, und diese Anwendung scheint insofern sehr passend,

als man gerade einer hölzernen Röhre wegen ihrer grossen Steifigkeit eine sehr sichere und genaue Aufstellung geben kann, was aber beim Beginnen der Arbeit von besonderer Wichtigkeit ist. Fig. 50, *a* und *b* zeigt den Durchschnitt einer hölzernen Futterröhre; sie ist nach Fig. *b* unten mit einem eisernen Schuh versehen, der nach aussen vortritt, und der mittelst vier Federn, die in die Röhre eingelassen sind, an selbige befestigt wird. An der innern Seite ist an dem Schuh eine kurze Röhre von Eisenblech angenietet, welche dieselbe Weite wie die hölzerne Futterröhre hat und die zur Schonung der letztern dient. Der Bohrer spielt nämlich, so lange die Röhre nachgetrieben wird, immer in ihrem untern Theile, und es würde daher hier eine starke Abnutzung und eine sehr schnelle Schwächung eintreten, wenn man die Ausfütterung mit Eisenblech unterlassen wollte. Fig. *a* zeigt dagegen eine passende Zusammensetzung zweier Röhrenstücke. Jedes derselben ist am Ende mit einem fest aufgetriebenen Ringe versehen, damit es unter den Schlägen des Rammklotzes nicht spaltet oder in den Holzfasern aufgelockert wird; diese Ringe sind aber so aufgebracht, dass sie vor der äussern Wandfläche nicht vorstehen und daher das tiefere Eindringen auch nicht erschweren. Zuweilen verbindet man die Theile der Röhre durch Zapfen, wie solche bei den Röhren der Wasserleitungen üblich sind; doch wird dadurch die Röhre so geschwächt, dass sie den Schlägen der Ramme nicht sicher genug widersteht, und es ist daher vortheilhafter, die Enden nur stumpf auf einander zu stellen und durch eine eingeschobene Röhre von starkem Eisenblech mit einander zu verbinden. Man kann diese eiserne Röhre, welche etwa nur 9 Zoll hoch ist, sobald die Verlängerung nöthig wird, mittelst Nägel mit versenkten Köpfen gegen die untere befestigen, worauf keine weitere Befestigung an die obere Röhre erforderlich ist. Es versteht sich übrigens von selbst, dass sowohl die letzterwähnten Verbindungsröhren, als auch jene eiserne Röhre über dem Schuhe sehr sorgfältig in die hölzernen Röhren eingelassen sein müssen, damit nirgend die lichte Weite der Bohrröhre verengt oder vergrössert wird, und noch weniger sich vielleicht vortretende Ränder bilden, welche leicht vom Gestänge oder von den Bohrern gefasst werden könnten, wodurch die ganze Zusammenstellung wesentlich leiden, oder wohl gar die Röhre

gestopft würde. Die Wandstärke, die man den hölzernen Futterröhren giebt, beträgt im Allgemeinen etwa die Hälfte ihrer lichten Weite. Sie bestehen gewöhnlich nur aus Fichtenholz, doch gewähren die harten Holzarten eine grössere Sicherheit, woher man nicht selten auch Eichenholz dazu anwendet. Endlich muss noch erwähnt werden, dass man zuweilen, um eine sorgfältigere Bearbeitung zu erzielen, das Loch nicht ausbohrt, sondern den Stamm der Länge nach zerschneidet, und in jeder Hälfte eine Rinne vom Querschnitte des halben Kreises aushobelt und demnächst durch Zugbänder beide Stücke verbindet.

Zum Eintreiben dieser hölzernen Röhren bedient man sich der gewöhnlichen Rammen, doch muss man, um den Beschädigungen durch das unmittelbare Aufschlagen des Rammklotzes zu begegnen, sich eines Knechtes oder Aufsetzers bedienen, der mit einem Zapfen in die Röhre greift und dessen Kopf durch einen starken eisernen Ring vor dem Aufspalten gesichert ist. Wenn diese Röhren zugleich als Steigeröhren für das Quellwasser dienen sollen, was gemeinhin geschieht, so ist es nöthig, sie in den Stössen noch einigermaassen wasserdicht zu machen; zu diesem Zwecke bringt man daselbst Ringe von getheerter Leinwand an, doch darf man nicht hoffen, hierdurch das Durchfliessen zu hindern, wenn von der einen oder der andern Seite eine grosse Differenz des Druckes stattfindet. Ist dieses also der Fall, so müssen noch besondere Steigeröhren eingesetzt werden.

Eine andere Art, die Bohrlöcher einzufassen, besteht in der Anwendung hölzerner Kasten, und diese Methode wird besonders von Garnier empfohlen. Die Vortheile, die sie hat, sind bereits bei Beschreibung der Bohrer erwähnt worden, dagegen ist ihre geringe Festigkeit nicht zu verkennen und jedenfalls finden sie nur so lange Anwendung, als man in einem leichten, aufgeschwemmten Boden arbeitet. Der Grund, weshalb sie im nördlichen Frankreich so vielen Beifall gefunden haben, möchte aber wohl vorzugsweise in der Kostbarkeit des Holzes und der metallenen Röhren zu suchen sein. In Deutschland und England haben diese Einfassungen, so viel bekannt geworden, keine Anwendung gefunden, und selbst in Frankreich ist man in der neuesten Zeit ziemlich allgemein zu den metallenen Röhren übergegangen. Die von Garnier angegebene, sehr sinnreiche Zusammenstellung ist

Fig. 51 im Grundrisse und Fig. 52 in perspectivischer Ansicht dargestellt. Ein wesentlicher Punkt ist dabei der, dass die Stösse für die vier Seiten nicht zusammenfallen, sondern versetzt sind, und zwar so, dass von drei zu drei Fuss zwei Stösse vorkommen, die abwechselnd einmal an der vordern und hintern Seite und dann wieder rechts und links liegen, woher die ganze kastenförmige Ausfütterung des Bohrloches sich aus Brettstücken von 6 Fuss Länge zusammensetzt. Nur unmittelbar über dem Schuhe werden längere Brettstücken benutzt, nämlich von 12 und 9 Fuss Länge, aber hierdurch bildet sich gleich die Differenz von 3 Fuss in der Höhe der Seiten, und diese wird auf die erwähnte Art auch später dauernd beibehalten. Die Verbindung in den vertikalen Kanten besteht in einer halben Spundung; die Brettstückchen, welche die Seiten *B C* und *G D* bilden, sind breiter als die, welche die Seiten *C D* und *B G* darstellen, und ober- und unterhalb jedes Stosses der letzteren befindet sich ein Schraubenbolzen *C D* mit versenktem Kopfe und versenkter Mutter. In den Richtungen *B C* und *G D* können solche nicht angebracht werden. Ausserdem sind noch in allen vier Ecken in Abstände von 6 zu 6 Zoll Nägel eingeschlagen und zwar, wie bei *B* und *G* zu sehen ist, abwechselnd in zwei verschiedenen Richtungen, wodurch einer Trennung immer sehr sicher vorgebeugt wird. Die Verbindung in den horizontalen oder Stossfugen ist eine vollständige Spundung, und diese ist auch nothwendig, um ein Ausweichen einzelner Bretter, die sich vielleicht besonders stark werfen, zu verhindern. Diese viereckigen Kasten dienen immer nur als Ausfütterung des Bohrloches während der Arbeit und niemals als Steigeröhren für das erbohrte Quellwasser. Sobald also letzteres erreicht ist, werden besondere Steigeröhren eingesetzt, und nun versucht man jene Kasten herauszuziehen, um sie bei anderer Gelegenheit aufs Neue zu benutzen. Oft gelingt es, sie in ihrer ganzen Länge wieder zu gewinnen, und wenn mehrere dergleichen Kasten ineinander geschoben waren, so muss man natürlich beim Ausziehen mit dem innern und längsten den Anfang machen.

Die Wände der Kasten haben eine Stärke von 2 bis $2\frac{1}{2}$ Zoll, aber selbst in dem Falle, wenn bis fünf Kasten ineinander geschoben sind und man die Dimensionen der innern möglichst reduciren muss, dürfen diese doch nie unter $1\frac{1}{2}$ Zoll Stärke haben. Man

wendet dazu vorzugsweise Bohlen aus Rüsternholz an, weil dieses eine grosse Festigkeit und Zähigkeit besitzt. Bei der Anfertigung der Kasten ist aber noch darauf Rücksicht zu nehmen, dass die concave Seite der Jahresringe im Holze nach aussen gekehrt ist, denn nach dieser Seite erfolgt beim Quellen die Ausbauchung und man vermeidet hierdurch die Verengung der Oeffnung, die sonst unfehlbar beim Eintreten des Kastens in das Wasser sich zeigen würde.

In Beziehung auf den Schuh und die Ausfütterung des untern Theiles mit Eisenblech gilt dasselbe, was bereits bei Gelegenheit der hölzernen Röhren erwähnt ist. Um aber die Ramme anwenden zu können, muss zunächst der obere Theil des Kastens ergänzt werden, und dieses geschieht, indem man auf die beiden tiefer abgeschnittenen Seiten zwei passend bearbeitete Bohlenstücke von drei Fuss Länge aufsetzt, mit einer starken Leine sie von aussen festbindet und durch vorgeschlagene hölzerne Keile der ganzen Verbindung die nöthige Festigkeit giebt. Diese Aufsetzstücke müssen sowohl in den Stossfugen, als in den verticalen Fugen ebenso bearbeitet sein, wie die Bohlen, welche später an ihrer Stelle durch Schrauben und Nägel befestigt werden; es folgt daher, dass man für jeden Kasten zwei Paar solcher Aufsetzstücke braucht. Nachdem die Ausgleichung der Oberfläche des Kastens erfolgt ist, legt man einen hölzernen Rahmen darauf, der unten mit einer Rinne versehen ist, die eben so weit ist, als die Wände des Kastens stark sind. Hierdurch erhält also der Kasten eine neue Verbindung während des Rammens, und auf den Rahmen wird, wieder mit einem Zapfen eingreifend, der Aufsetzer oder Knecht gestellt, der unmittelbar die Schläge des Rammklotzes aufnimmt.

G u s s e i s e r n e F u t t e r r ö h r e n, die häufig auch zugleich die Steigeröhren für das Quellwasser bilden, sind in England besonders üblich; ihre regelmässige und unveränderliche Form, ihre Steifigkeit, auch ihr grosses Gewicht bei sehr geringer Wandstärke sind sehr empfehlenswerthe Eigenschaften, und es kommt noch dazu, dass sie in reinem Boden, der von hartem Geschiebe frei ist, einen mässigen Schlag des Rammklotzes sicher ertragen. Eine Hauptbedingung ihrer Anwendung ist aber ein möglichst genauer Guss, und dieses namentlich in dem Falle, wenn sie mit

Zapfen, die um die halbe Wandstärke gegen die äussere Fläche zurücktreten, ineinander greifen. Man giebt ihnen bei 9 Fuss Länge und 6 Zoll Durchmesser nur eine Wandstärke von 4 Linien, und an den Enden, wo eine Röhre die andere umfasst, sogar nur 2 Linien. In dem aus England bezogenen Apparate, dessen man sich bei dem Bohrversuche in Bremerhafen bedient hatte (wo jedoch wegen eines Bruches in eben diesen Röhren die Arbeit eingestellt werden musste), war sehr zweckmässig jedes Ende der Röhre mit einem 2 Zoll hohen Zapfen versehen, dessen Wandstärke gleich der halben Wandstärke des übrigen Theiles der Röhre war, und zur Verbindung beider dienten abgedrehte Ringe von Schmiedeeisen, die wieder 2 Linien Stärke und etwas über 4 Zoll Höhe hatten; letztere verhinderten die unmittelbare Berührung des Gusseisens und sie umschlossen und verstärkten zugleich die Enden aller einzelnen Röhrenstücke. Taf. IV. Fig. 53 zeigt diese Verbindung, und man bemerkt, wie die ganze Röhrentour auf beiden Seiten eine sich gleichbleibende Weite behält. Den letzterwähnten Vortheil giebt man jedoch zuweilen auch auf, um die Schwächung der Röhren in den Stössen zu vermeiden, und man versieht in diesem Falle jedes einzelne Stück mit einem erweiterten Halse, wo das untere Ende der folgenden Röhre hineinpasst, genau in derselben Art, wie bei eisernen Wasserleitungsröhren dieses gewöhnlich geschieht. Alsdann hat die Röhrentour nur von innen einen gleichen Durchmesser, nicht aber von aussen, wo der erweiterte Hals jedesmal vorsteht; man erreicht dabei aber noch den Vortheil, dass man durch Einstossen von Werg und durch Ausgiessen der Fugen mit Blei einen wasserdichten Schluss hervorbringen kann, dessen Darstellung sehr wichtig ist, wenn die Röhre zugleich als Steigeröhre für das Quellwasser dienen soll.

Das Eintreiben der gusseisernen Röhren geschieht entweder unter der gewöhnlichen Ramme, oder man stellt auch, wie Fig. 54 zeigt, einen leichten Rammapparat auf der Röhre selbst auf; der hölzerne Aufsetzer oder Knecht trägt nämlich in der Axe der Röhre eine eiserne Stange, die als Läuferruthe zur Führung des Rammklotzes *A* dient. Letzterer wiegt 2 bis 3 Centner, er besteht aus Gusseisen, und indem er der Länge nach durchlocht ist, steckt er auf der erwähnten Stange und wird mittelst eines Rammtaues gehoben, welches über eine darüber befindliche Rolle geführt ist.

Kommt es darauf an, die gusseisernen Röhren herauszunehmen, so dient dazu ein Apparat, welcher dem in Fig. 49 dargestellten sehr nahe kommt und sich nur darin von ihm unterscheidet, dass die drei Federn nicht auf der innern, sondern auf der äussern Seite mit Widerhaken versehen sind, womit sie das untere Ende der ganzen Röhrentour fassen. Zuweilen hat man auch durch Vernietheh oder Anbringung von Schrauben die einzelnen Röhrenstücke mit einander verbunden, so dass man beim Fassen des obersten Stückes die sämmtlichen darunter befindlichen mit herauszieht; doch ist dieses Verfahren immer sehr gefährlich, indem bei der Uebertragung des Stosses vom Rammklotze durch die einzelnen Niethen oder Schrauben zu leicht die gusseisernen Röhren zerbrochen werden.

Endlich sind noch die **Futterröhren aus gewalztem Eisenbleche** zu erwähnen; sie werden in neuerer Zeit in schwierigen Fällen beinahe ausschliesslich angewendet. In Bezug auf die Steifigkeit stehen sie den gusseisernen und hölzernen Röhren freilich nach, dagegen fehlt ihnen aber die Sprödigkeit der ersteren, und vor beiden haben sie den grossen Vorzug, dass die einzelnen Röhrenstücke mit einander viel solider verbunden sind und sie ausserdem einer weit geringeren Wanddicke bedürfen, um die nöthige Festigkeit zu haben. Unter dem Rammklotze pflegen sie freilich sich zu biegen und Falten zu schlagen, woher man gewöhnlich die Ramme bei ihnen gar nicht anwendet, dagegen bedürfen sie auch weniger als alle andere Futterröhren die starke Kraft zum Herabtreiben, und dieses aus dem Grunde, weil ihre äussere Oberfläche mehr glatt ist und ihre geringe Wandstärke besonders leicht die gehörige Erweiterung des Bohrloches gestattet; dazu kommt noch, dass eben wegen ihrer geringen Wandstärke die Anzahl der ineinander geschobenen Röhrenfahrten leicht vergrössert werden kann. Sobald sie aber durch ihr eigenes Gewicht nicht mehr von selbst herabsinken, kann man noch hölzerne oder eiserne Hebel an ihr oberes Ende schrauben, um sie zu drehen und auf diese Art ihr weiteres Eindringen sehr kräftig befördern. Ein solcher Hebel von Eisen ist Fig. 55 dargestellt, der keiner weiteren Erklärung bedarf. Der hölzerne Hebel hat dagegen eine Einrichtung, die wesentlich mit der Fig. 56 angegebenen Zwinge übereinkommt und sich nur dadurch unterscheidet, dass nach

jeder Seite ein Arm verlängert ist. Die erwähnte Zwinge dient dazu, die Röhre beim Herablassen und Zusammensetzen, oder auch wohl beim Aufnehmen auf die Rüstung neben dem Bohrloche sicher aufzustellen.

Die Bleche, die man zu diesen Röhren anwendet, haben die Stärke von etwa $\frac{1}{8}$ Zoll; Degousée giebt den engsten Röhren, die er benutzt, von $7\frac{1}{4}$ Zoll Durchmesser, eine Blechstärke von 0,92 Linien und den weitesten Röhren, von $12\frac{3}{4}$ Zoll Durchmesser, eine Blechstärke von 2,29 Linien. Die Länge der einzelnen Röhrenstücke richtet sich nach der Breite der Bleche und mag durchschnittlich 4 Fuss betragen; dieselben werden wie gewöhnliche Blechröhren mit übergreifenden Rändern in der vorgeschriebenen Weite cylindrisch gebogen und vernietet. Ihre Zusammensetzung zur ganzen Röhrentour erfolgt mittelst 8 bis 12 Zoll hohen von aussen aufgeschobenen Ringen, die ebenso wie die Röhren construirt sind. Auf der Hütte selbst, wo die Anfertigung geschieht, wird ein Verbindungsring an jedes Röhrenstück genietet, so dass derselbe mit seiner halben Höhe vorsteht, und zwar müssen die übergreifenden Ränder nicht zusammenfallen, weil sonst an einzelnen Stellen vier Blechstärken über einander liegen würden. Ausserdem müssen die sämmtlichen Löcher für die Niethen, wodurch die Verbindungsringe auf der andern Seite gegen die Röhrenstücke noch befestigt werden sollen, genau passend gebohrt sein. Damit man hierbei aber nicht viel zu suchen braucht, und man nicht gleich in Verlegenheit kommt, wenn ein Ring oder ein Röhrenstück beschädigt wird, so ist es nöthig, dass nicht nur alle Löcher ganz gleichmässig gebohrt, sondern auch alle Röhren recht scharf und genau abgeschnitten sind und sonach alle Theile unter sich passen und jedesmal die Röhrenstücke auf einander fest aufstehen. Soll nun die Verlängerung der Röhrentour erfolgen, so schiebt man auf das obere Ende der Röhre, welches den Verbindungsring noch nicht trägt, einen solchen mit dem daran befestigten Röhrenstücke auf und dreht letzteres so lange, bis die Niethlöcher genau aufeinander passen. Nun fasst man einen glühenden Nieth mit einer langen Zange und bringt ihn von innen in das Loch ein, dieses ist insofern nicht schwer, als man an der Zange zuvor eine Marke machen kann, woran man erkennt, wie weit dieselbe unter den obern Rand der Röhre hineingesteckt werden soll. Ist

dieses geschehen, so greift man mit einer zweiten Zange das durch das Loch vortretende Ende des Niethes *B* (Fig. 57), damit dasselbe nicht etwa in die Röhre fallen kann, und schiebt in die letztere wieder bis zur gehörigen Tiefe einen Ambos *C* ein, der, wie die Figur zeigt, cylindrisch und der Weite der Röhre entsprechend geformt ist und ausserdem durch eine an der hintern Seite angebrachte Feder immer scharf gegen das Nieth gedrückt wird. Auf diesem Ambos kann nun mit grosser Sicherheit das Verniethen vorgenommen werden. Statt dieser Niethe gebraucht man zuweilen auch Schraubenbolzen, wie Fig. 58 einen solchen in natürlicher Grösse zeigt. Sie werden von innen eingesetzt und dann von aussen durch eine Schraubenmutter gehörig fest angezogen, worauf das vorstehende Ende mit einer stählernen Säge abgeschnitten wird. Damit diese Bolzen aber beim Einsetzen nicht herabfallen, so bindet man jeden derselben an einen Faden, zu welchem Zweck, wie die Figur zeigt, am Ende eine Oese angebracht ist. An diesem Faden wird der Bolzen in die Röhre herabgelassen, und dann fasst man mit einem feinen Drahthaken, der durch das betreffende Loch gesteckt wird, den Faden und zieht, nachdem letzterer durchschnitten ist, daran den Bolzen an die bestimmte Stelle, worauf die Mutter aufgeschroben werden kann.

Eine andere Verbindungsart der Röhren aus Eisenblech beruht noch darauf, dass man die Verbindungsringe anlöthet, was besonders in Bezug auf die Wasserdichtigkeit von grossem Nutzen ist. Ausserdem kann man aber bei diesem Verfahren noch eine andere sehr vortheilhafte Einrichtung treffen: die Verbindungsringe vergrössern nämlich, wo sie gerade angebracht sind, den äussern Durchmesser der Futterröhre, und diese Ungleichmässigkeit verhindert augenscheinlich das leichte Eindringen; wenn man aber die Verbindungsringe so lang macht, dass sie sich unmittelbar berühren, oder eine vollständige äussere Röhre bilden, so verschwindet nicht nur der erwähnte Nachtheil, sondern man erreicht auch noch den grossen Vortheil, dass die Röhre bei gleicher Wandstärke fester wird, oder dass man zur Hervorbringung des nöthigen Grades von Festigkeit schwächere Bleche anwenden darf. Zu einer Röhrentour werden in diesem Falle innere und äussere Röhren von gleicher Länge angefertigt, von denen die letzteren

sich mit Leichtigkeit und mit reichlichem Spielraume über die ersteren schieben lassen, und sie werden so gestellt, dass jedesmal die innere Röhre mit der halben Länge des einzelnen Stückes vor der äussern vorsteht. Soll nun die Verlängerung vorgenommen werden, so schiebt man zuerst ein äusseres Stück auf, so dass es auf dem darunter befindlichen fest aufsteht, dann stellt man ebenso ein inneres ein: man schiebt eine Art von Kolben bis unter die Fugen der innern Röhrenstücke und stampft darauf Lehm an, um das Einfliessen des Lothes zu verhindern und dichtet gleichfalls durch umgeschlagenen Lehm die Fuge zwischen den äussern Röhren. Ein aus zwei Hälften bestehender Kohlenkorb wird nun um die Röhre befestigt und darin das Feuer so lange unterhalten, bis die Röhren für die Löthung hinreichend erwärmt sind; dann giesst man von oben das Loth unter einigem Drucke ein, welches nun den zuletzt aufgebrachten äussern Cylinder mit den beiden innern verbindet. Zu dieser Operation ist es erforderlich, die zusammenzulöthenden Flächen vorher zu verzinnen; sollte es sich aber treffen, dass das Loth in die Röhre hineinfliesst und sonach die innere Weite etwas verengt, so ist dasselbe mit einem Apparate, ähnlich dem Fig. 24 dargestellten, leicht auszuschneiden oder auszubohren; in manchen Fällen muss man zu diesem Zwecke auch grosse halbrunde Feilen an das Gestänge befestigen, die mittelst Federn angedrückt werden. Diese Art der Verbindung, welche bei Artern angewendet wurde, hat noch den Vortheil, dass man die Röhrentour, sobald es nöthig wird, sicher herausziehen und durch Erwärmung in ihre einzelnen Theile wieder zerlegen kann. Die Kosten für solche doppelte, zusammengelöthete Röhren stellen sich freilich etwas höher, als für einfache. Dieser Umstand ist indessen bei grossen Bohrarbeiten von geringer Bedeutung, indem der Betrag der Arbeitslöhne jederzeit viel grösser ausfällt, als der des angeschafften Materials, und sonach jede Aenderung im Apparate vortheilhaft ist, wodurch zufällige Unterbrechungen oder Vermehrung der Arbeit vermieden werden kann. Die in dieser Art zusammengesetzte Röhre für das Bohrloch zu Artern hatte in den einzelnen Stücken eine Wandstärke von $\frac{1}{15}$ Zoll, ihre lichte Weite konnte nur $2\frac{1}{8}$ Zoll betragen, und der lichte Zwischenraum zwischen der innern und äussern Röhre, der mit Zinn ausgegossen wurde, maass $\frac{1}{10}$ Zoll.

Vom Einsetzen der Futterröhren aus gewalztem Eisen ist bereits die Rede gewesen und zugleich bemerkt worden, dass beim gewaltsamen Eintreiben derselben durch die Ramme leicht Biegungen oder Falten entstehen, welche das Bohren erschweren und das weitere Einsenken der Röhre unmöglich machen. Man entfernt solche Falten mit einem Apparate, der wieder dem in Fig. 24 dargestellten ziemlich ähnlich sieht und sich nur darin unterscheidet, dass er nicht mit Schneiden, sondern mit glatten Rücken, wie ein Polirstahl, versehen ist. Man giebt ihm statt der zwei Arme auch häufig deren vier, so dass er also aus zwei sich kreuzenden Bügeln besteht; jedenfalls muss er aber genau nach der lichten Weite der Röhre geformt sein, weil er sonst entweder seinen Zweck nicht erfüllen, oder gar nicht hineingebracht werden kann.

Gemeinhin dienen die Futterröhren aus Eisenblech zugleich als Steigeröhren für das Quellwasser, und man pflegt sie in diesem Falle zu verzinnen, weil sie sonst zu leicht vom Wasser angegriffen werden. Trifft es sich aber, dass mehrere Röhrentouren in einander geschoben sind, und kommt noch dazu, dass eine wasserdichte Absperrung des Grundwassers und der sonst etwa zwischenliegenden Quellen nicht nöthig ist, so ist es natürlich überflüssig, dass die sämmtlichen Röhren im Bohrloche bleiben, und es würde genügen, die mittelste und zugleich längste darin zu belassen. Man kann jedoch die äussere nicht zuerst entfernen, und daher pflegt man unter den erwähnten Umständen jede von den innern Röhren etwas über dem untern Ende der nächstfolgenden äussern abzuschneiden. Dieses geschieht, indem man am Gestänge einen scharfen und gehörig gehärteten stählernen Zahn befestigt, der durch eine Feder an die Röhrenwand gedrückt wird; durch Vorwärtsdrehen bringt man ihn zum Einschneiden, während er bei der Bewegung auf- und abwärts die Röhren beinahe gar nicht angreift. Auf solche Art schneidet man zunächst die innerste Röhre an der Stelle durch, wo das Bohrloch eine doppelte Ausfütterung hat. Das Ausheben des abgeschnittenen ganz freistehenden Stückes hat gar keine Schwierigkeit und demnächst geht man zur folgenden Röhre über, und so fort, bis zuletzt das ganze Bohrloch überall nur von einer einfachen Röhre umschlossen bleibt.

§. 13.

Ausführung der Artesischen Brunnen mit festem Gestänge.

Bei Ausführung der Artesischen Brunnen pflegt man die Bohrarbeit nicht unmittelbar an der Oberfläche des Erdbodens beginnen zu lassen, sondern vielmehr geschieht dieses immer erst in der Tiefe von 10 bis 30 Fuss, und es kommen Fälle vor, wo man entweder gleich Anfangs, oder auch während der Arbeit Schachte bis auf 100 Fuss und mehr abgeteuft hat, in deren Boden das Bohrloch mündet. Dieses Verfahren könnte insofern unpassend erscheinen, als es ohne Zweifel viel kostbarer ist, etwa 30 Fuss tief einen Schacht auszugraben und abzusteifen, als bis zu derselben Tiefe zu bohren, namentlich wenn der ganze Bohrapparat doch beschafft werden muss. Dieser Vortheil verschwindet indessen bei der weitern Fortsetzung der Arbeit, denn wenn das Bohrloch erst 30 Fuss unter der Oberfläche anfängt, so ist auch das Gestänge fortwährend um eben so viel kürzer, und man hat bei dem immer wiederholten Ausheben und Einsetzen zwei oder mindestens eine Verbindung weniger zu lösen und zusammenzuschrauben, und so macht sich die Grabenarbeit schon reichlich bezahlt; man muss aber dieser beispielsweise zu 30 Fuss angenommenen Schachttiefe nicht die ersten, sondern die letzten 30 Fuss des Bohrloches gegenüberstellen, indem dadurch diese erspart werden, und man wird sich überzeugen, dass es schon in Bezug auf den Kostenpunkt vortheilhaft ist, mit dem Schachte recht tief herabzugehen, bevor man zu bohren anfängt. Man hat dabei aber ferner auch den Vortheil, dass man in einem solchen Schachte sehr sicher die Rahmen befestigen kann, in denen die Futterröhre herabgetrieben wird, und dieser Umstand ist insofern von besonderer Wichtigkeit, als es namentlich im Anfange der Bohrarbeit darauf ankommt, die Röhre oder den viereckigen Kasten genau senkrecht einzustossen und man bei eintretender schrägen Stellung desselben durch fest eingetriebene Keile sehr wirksam nachhelfen kann, da hier die Rüstungen nicht seitwärts weichen. Endlich aber wird, wie bereits oben erwähnt, die Arbeit auch sehr erleichtert, wenn das Gestänge in recht lange Theile zerlegt werden kann, oder wenn nur wenige Verbindungen zwischen den einzelnen Gliedern

gelöst werden dürfen; dieses hängt aber von der Höhe der Rüstungen ab, die neben dem Bohrloche aufgerichtet sind, um die abgeschrobenen Theile des Gestänges dagegen zu lehnen, und es ergiebt sich, dass man dieselbe nutzbare Höhe auch mittelst niedrigerer Rüstungen erreichen kann, wenn ein Schacht diese theilweise ersetzt.

Aus den erwähnten Gründen ist es immer vortheilhaft, wenigstens 10 bis 20 Fuss einen weiten Schacht herabzuführen, und bei sehr tiefen Bohrlöchern entgeht man manchen Zufälligkeiten, wenn man dem Schachte eine noch viel grössere Länge giebt. Hierbei kommt aber noch der Stand des Grundwassers oder das Erscheinen der ersten Quellen in Betracht, denn jedenfalls muss das Bohren da beginnen, wo sich Wasser zeigt.

Die Einfassung des Schachtes, um das Verschütten desselben zu verhindern, kann auf sehr verschiedene Art geschehen. Wenn es vorauszusehen ist, dass die Arbeit eine Reihe von Jahren hindurch fortgesetzt werden wird, so muss natürlich die Einfassung um so dauerhafter sein, man pflegt dann wohl den obern Theil, wie Fig. 60 zeigt, auszumauern, und den untern Theil, worin nur die Rahmen zur Führung der Futterröhre befestigt werden sollen, worin aber nicht gearbeitet wird, mit einer Spundwand einzuschliessen. Bei kleineren Bohrarbeiten, die nur bis zu geringer Tiefe fortgesetzt werden sollen und deren Beendigung in einigen Monaten oder etwa nach einem Jahre zu erwarten steht, genügt eine Absteifung durch Holz, wie solche Fig. 59 zeigt. Man kann diese ebenso gut senkrecht, wie in pyramidaler Form darstellen, doch wählt man gemeinhin die letztere und dieses nicht nur wegen des verminderten Erddruckes, sondern auch aus dem Grunde, weil man am untern Theile, wo nur der Rahmen zur Führung der Futterröhre befestigt wird, keine grosse Weite braucht, wogegen weiter oberhalb eine grössere Verbreitung der Grube zum bequemen Betriebe der Bohrarbeit wesentlich beiträgt.

Die Art, wie dergleichen Schachte, wie Fig. 59 einen solchen zeigt, in leichtem Boden abgeteuft und verzimmert werden, ist folgende. Man richtet zunächst die quadratischen Rahmen vor, welche die Verschalung und durch diese auch die hinterliegende Erde halten sollen. Diese Rahmen sind nicht der Gefahr ausgesetzt, auseinandergezogen, noch auch verschoben zu werden, der Erd-

druck wirkt allein dahin, sie zusammenzudrücken, daher darf bei ihrer Verbindung nur darauf Rücksicht genommen werden, dies letztere zu verhindern; zu diesem Zwecke genügt es, die Verbandstücke, die in der Regel nur aus Kreuzholz oder schwachem Bauholze bestehen, in den Ecken durch einen einfachen Kamm mittelst Ueberblattung mit einander zu verbinden, und um das Holz nicht einzuschneiden und es dadurch nicht vielleicht zu andern Zwecken unbrauchbar zu machen, begnügt man sich zuweilen auch damit, auf jedes Stück zwei Knaggen zu nageln, die an zwei Stücken nach oben, und an den beiden andern nach unten gekehrt sind und die gleichfalls ein Zusammendrücken in jeder Richtung verhindern. Die Entfernung der Rahmen von einander beträgt etwa 4 Fuss, und sonach wird die Form des Schachtes durch die Grösse bedingt, die man den Rahmen giebt. Hinter die Rahmen, und zwar von einem bis zu dem nächstfolgenden reichend, werden Brettstücken, die unten zugeschärft sind, neben einander eingestossen, und wenn der Boden, den man durchfährt, reiner Sand ist, der leicht die Fugen durchdringt, so muss diese Wand eine Stülpwand sein, das heisst, hinter jede Fuge wird noch ein zweites ähnliches Brett gerammt. Man gräbt zuerst den Boden in der Tiefe von etwa einem Fuss auf, und nachdem er planirt und horizontal ausgestochen ist, wird der erste Rahmen darauf flach hingelegt. Dann fängt man an, hinter dem Rahmen die Brettstücken, welche die Erde halten sollen, in der angemessenen Richtung mit einer Handramme oder einem Schlägel einzutreiben und setzt gleichzeitig die Ausgrabung fort, bis man in der gehörigen Tiefe auf die wieder geebnete Fläche den zweiten Rahmen legen kann. Die Schalwand dahinter muss etwa einen Fuss tiefer herabreichen, als der letzte und denselben nicht unmittelbar berühren. Es lässt sich dieses ziemlich genau erreichen, indem ein Brettstück, welches zu weit von der Baugrube abbleiben würde, durch tiefes Ausgraben davor wieder hineingezogen, und eines, welches zu nahe kommt, durch Keile wieder von dem Rahmen etwas entfernt werden kann, wenn es gleichzeitig nachgerammt wird. Es kommt hierbei nur immer darauf an, dass die Brettstücken sorgfältig gesetzt und das Graben so betrieben wird, dass man dadurch auf ihre regelmässige Stellung hinwirkt. Ist der zweite Rahmen gelegt, so rammt man zwischen demselben und

der ersten Schalwand die zweite Schalwand ein und unterstützt diese Arbeit aufs Neue durch die fernere Vertiefung der Baugrube, und so setzt sich dasselbe Verfahren fort, bis der unterste Rahmen liegt; sobald aber die zweite Schalwand die gehörige Tiefe erreicht hat, so dass das Rammen über dem zweiten Rahmen aufhört, so wird dieser auf jeder Seite durch zwei Brettstücken, also im Ganzen durch acht mit dem oberen Rahmen verbunden, und dieses geschieht gleichfalls, sobald es sein kann, mit allen folgenden, wodurch der ganze Bau in allen Theilen eine grosse Festigkeit erhält und man auf jedem einzelnen Rahmen sehr sichere Rüstungen anzubringen im Stande ist. Die detaillirte Zeichnung in Fig. 59 stellt alle Theile der erwähnten Verzimmerung dar.

Ist auf diese Art Alles zum Beginnen der Bohrarbeit vorbereitet, so macht man bei festerem Boden sogleich den Anfang mit derselben und setzt die Futterröhre erst ein, nachdem man mehrere Fuss tief gebohrt hat; bei sehr leichtem Sandgrunde dagegen würde das Bohrloch, so lange es nicht in den Wänden gesichert ist, nicht offen zu halten sein und man muss daher hier zuerst die Futterröhre einsetzen. Von der senkrechten Einstellung derselben hängt der weitere Fortgang der ganzen Arbeit wesentlich ab, man darf daher keine Mühe scheuen, um hierbei die möglichste Genauigkeit zu erreichen; damit aber die Röhre Anfangs senkrecht eingerammt wird, kommt es darauf an, sie an zwei Stellen, die je nach der Steifigkeit der Röhre 10 bis 20 Fuss oder auch wohl noch weiter von einander entfernt sind, fest einzuschliessen; sie kann alsdann unter den Schlägen des Rammklotzes sich nur in der Richtung bewegen, welche durch diese beiden Einfassungen bezeichnet ist. Wenn daher diese Richtung die lothrechte ist und der Rammklotz gleichfalls lothrecht und genau central die Röhre trifft, so lässt sich unter einer fortgesetzten Prüfung durch Anhalten des Lothes und durch gehöriges Einstellen der Keile der richtige Stand hervorbringen. Jene beiden Einfassungen lassen sich in dem Schachte selbst sehr sicher und bequem anbringen, und es sind gewöhnlich Rahmen mit quadratischen Oeffnungen, welche um etwa 6 Zoll weiter als die Röhren sind; man gewinnt dadurch für die Keile, die von allen Seiten zur Hervorbringung eines lothrechten Standes eingestellt werden müssen, den nöthigen Spielraum. Diese Keile müssen schliessend gesetzt, doch keines-

wegs zu scharf eingetrieben werden, weil sie sonst leicht mit der Röhre selbst noch weiter eindringen und dann die Röhre zerdrücken könnten. Auf diese Art ist eine fortwährende Aufmerksamkeit auf die Keile nothwendig, und nach wenigen Schlägen der Ramme muss man die herausgeworfenen Keile wieder einsetzen und diejenigen, die zu fest stecken, wieder lüften, während das Loth überall zeigt, nach welcher Seite die Röhre überzuweichen droht. Diese grosse Aufmerksamkeit ist jedoch nur im Anfange der Bohrarbeit nothwendig, denn sobald die Röhre auch nur 10 Fuss im Boden eingedrungen ist, so kann man durch die Keile nur ihr oberes Ende noch richten, doch nicht mehr das untere, welches in der Stellung, die es einmal hat, festgehalten wird. Wäre demnach die Röhre sehr steif, so würde es genügen, sie nunmehr nur durch einen einzigen Rahmen noch zu fassen, doch behält man dafür lieber deren zwei, die jedoch viel näher übereinander liegen, wodurch der obere Theil des Schachtes frei wird und man denselben für das Drehen des Gestänges und das Fortstellen der Glieder benutzen kann. Man thut indessen immer wohl, den Gebrauch des Lothes und die Anwendung der Keile nie ganz aufzugeben, indem dadurch allein eine geradlinige Verlängerung der Röhre erreicht werden kann; am untern Ende der Röhre ist es hauptsächlich das grosse Gewicht des Gestänges und der Bohrer, welche auf die lothrechte Fortsetzung des Bohrloches hinwirken.

Es ist oben gesagt worden, dass die Röhren von gewalztem Eisenbleche gewöhnlich nicht eingerammt, sondern eingedreht werden, und es ist noch zu erwähnen, dass man durch Anwendung von Schrauben oder durch Belastung den todten Druck auf dieselben möglichst zu vergrössern sucht, wenn sie schon ziemlich fest stehen. Man pflegt diese Röhren indessen beim Beginn der Arbeit nicht sogleich zu gebrauchen, indem es unter diesen Verhältnissen zu schwierig sein würde, ihnen einen lothrechten Stand zu geben; man rammt vielmehr, wenigstens bis auf 20 oder 30 Fuss Tiefe, hölzerne Futterröhren oder Kasten ein, deren lichte Weite den äussern Durchmesser der eisernen Röhren etwas übertrifft, und nachdem bis zur benannten Tiefe die Bohrung ausgeführt ist, so bringt man die eisernen Röhren ein, welche jetzt durch die hölzernen in der beabsichtigten Stellung sicher erhalten werden.

Die Rüstungen für die eigentliche Bohrarbeit sind nach der Beschaffenheit des zu durchfahrenden Bodens wesentlich verschieden; ist es ein aufgeschwemmter Boden, oder ein sehr weiches Gestein, so muss das Gestänge gedreht werden, während es im Hebezeuge hängt, und insofern zum Herabtreiben der Futterröhre die Ramme benutzt wird, muss der Klotz wieder in der Richtung des Gestänges spielen. Andererseits aber, wenn der Boden aus festem Gesteine besteht, das durch fortgesetztes Aufstossen der Bohrer durchfahren wird, so muss hierzu die erforderliche Einrichtung getroffen sein, denn nur bei sehr kurzem Gestänge sind die Arbeiter im Stande, dieses unmittelbar zu thun. Sodann wird es immer von der muthmaasslichen Tiefe des Bohrloches und von der wahrscheinlichen Dauer der Arbeit abhängen, ob man durch leichtere und wohlfeilere Rüstungen manche Unbequemlichkeiten einführen, oder ob man zur möglichsten Erleichterung und Sicherung der Arbeit grössere Einrichtungskosten nicht scheuen darf. Hiernach fallen die Bohrrüstungen sehr verschieden aus und ich habe in den Figuren 59 und 60 zwei Arten derselben darzustellen versucht, von denen die erste für Bohrlöcher von einigen hundert Fuss Tiefe und für einen weicheren Boden bestimmt ist; Fig. 60 dagegen stellt einen Apparat dar, mit dem man bis zu tausend Fuss Tiefe und zwar in festem Boden herabgehen kann. Ich bin hierbei im Allgemeinen wohl den üblichen Formen gefolgt, doch habe ich die Details so zusammengestellt, wie sie mir am passendsten schienen.

Die Rüstung Fig. 59 kommt mit einer gewöhnlichen Ramme nahe genug überein, doch kann der mittlere Baum, der die Rolle des Hebezeuges trägt, nicht unmittelbar als Läuferruthe dienen, weil dadurch das Gestänge so nahe an selbige käme, dass es nicht mehr mit Bequemlichkeit gedreht, noch auch sonst gehörig gehandhabt werden könnte. Ausserdem würde der Rammklotz auch nicht unterhalb der Schwelle der Ramme spielen können, und dadurch würde der oben erwähnte Vortheil der Aufgrabung verloren gehen. Um die eigentliche Rammvorrichtung etwa auf 3 Fuss von der festen Rüstung zu entfernen und ihr dabei eine Anordnung zu geben, wodurch sie möglichst leicht aufgestellt und wieder zurückgezogen werden kann, hat man verschiedene Constructionen gewählt; die hier mitgetheilte scheint beiden Bedingungen und namentlich der letzten am besten zu entsprechen. Um die Zusammen-

setzung deutlich zu zeigen, ist in der Figur die vordere Strebe fortgelassen. Eine gewöhnliche viereckige Verschwellung bildet die Basis der Rüstung; die vordere Schwelle, welche über der Baugrube liegt, wird durch zwei Steifen gehörig unterstützt, und sie trägt in der Mitte den Baum, der bei der Ramme die Läuferruthe bilden würde. Letzterer wird durch zwei Seitenstreben und zwei zurücktretende Streben in seiner Stellung gehalten, und da die ganze Verbindung lange Zeit hindurch unverrückt stehen bleibt, so thut man wohl, statt der Verbindung mittelst der sonst üblichen Ueberwürfe starke Schraubenbolzen zu wählen. Der feste Krahnkopf auf dem Baume bedingt die Stellung der Rüstung, denn das Tau, welches von der vordern Rolle herabfällt, muss in die Axe des Bohrloches treffen; dasselbe Tau ist rückwärts über die zweite Rolle gezogen und um die horizontale Welle einer Hornhaspel geschlungen und daran befestigt. Dieses Tau darf nicht länger sein, als dass es bis zu dem Rahmen herabreicht, der dauernd die Futterröhre hält. Es versteht sich, dass die ganze Rüstung solide unterstützt und entweder durch Belastung an der hintern Seite, oder durch Kopftaue gehalten werden muss, um nicht etwa durch ein schweres Gestänge oder durch vermehrten Zug an demselben umgeworfen zu werden. Mit dem erwähnten Hebezeuge wird das Gestänge beim Zusammensetzen und Auseinandernehmen gehoben und gesenkt, und ebenso hängt es auch darin beim Gebrauche der Bohrer.

Die Vorrichtung zum Rammen ist in der Figur in zwei verschiedene Stellungen gezeichnet, nämlich in ausgezogenen Linien zeigt sie sich während ihres Gebrauches und die punktirte Zeichnung weist ihre Lage nach, während sie zurückgeschlagen ist und das Hebezeug für das Gestänge benutzt werden soll. Um den erwähnten Mittelbaum der Rüstung greifen, möglichst scharf schliessend, die beiden Arme einer Zange *D E* über, die gewöhnlich aus zwei Holzstücken zusammengesetzt ist, da sie die Breite von 24 Zoll haben muss. Sie wird durch einen Bolzen gegen den Mittelbaum befestigt, so dass sie sich frei drehen und die beiden angedeuteten Stellungen einnehmen kann. An ihrem äussern Ende ist sie mit einem Bügel versehen, worin der Haken des oben erwähnten Taues sie fasst und sie horizontal hält, wenn der Rammklotz spielen soll. Durch das Hebezeug kann sie aber

auch gehoben und zurückgeschlagen werden, worauf ein eiserner Haken *H* sie fasst und die weitere Unterstützung durch das Hebezeug entbehrlich wird. In dieser Zange befindet sich nun die Rammscheibe *F*, die wieder so angebracht sein muss, dass die Richtung des Rammtaues mit der Axe des Bohrloches zusammenfällt, und endlich sind daran noch die beiden Scheeren *G* mit einem Bolzen befestigt, welche die Stelle zweier Läuferruthen versehen und die der Rammklotz mit seinen acht Armen umfasst. Diese Scheeren greifen unten in passende Löcher in dem obern festen Rahmen des Schachtes. Soll die Rammarbeit eingestellt und das Gestänge eingebracht werden, so dreht man die Hornhaspel so weit, dass die Zange mit dem Haken gefasst werden kann, löst das Tau des Hebezeuges aus dem Bügel der Zange, stellt den Rammklotz bei Seite und entfernt den früher beschriebenen Aufsetzer nebst dem losen Rahmen darunter, wenn ein solcher vorhanden ist, und fasst das untere Glied des Gestänges mit dem Hebezeuge.

Sollte es bei Anwendung dieser Rüstung vorkommen, dass man festes Gestein träfe, welches nur durch Aufstossen der Bohrer durchfahren werden kann, so darf man zu diesem Zwecke den Rammapparat nicht füglich benutzen, indem der Bohrer, wie später erwähnt werden wird, nur wenige Zolle tief fallen darf und ein so kurzer Zug die Arbeiter sehr ermüden würde; man muss also, wie dieses in England häufig geschieht, dann einen Baum als ungleicharmigen Hebel vorrichten, dessen längeres Ende mit Zugleinen herabgedrückt wird, während das kürzere das Gestänge trägt. Dehnt diese Arbeit sich aber lange Zeit hindurch aus, so genügt eine solche einfache Vorrichtung wegen der geringen Leistung nicht mehr, und man muss einen solidern Hebelapparat mit Prellbalken oder Federn einrichten, wie dieser im Folgenden beschrieben werden wird.

Wenn man voraussetzen muss, dass die Bohrarbeit Jahre lang fortgesetzt werden wird, so thut man wohl, die Rüstung nicht nur mit einer Verdachung zu versehen, sondern sie auch mit Seitenwänden zu umschliessen, oder sie in ein vollständiges Gebäude (eine Kaue, d. i. das Gebäude, das über einem Schachte steht) zu verwandeln. Man vermeidet dadurch nicht nur die Unterbrechungen, die wegen ungünstiger Witterung sonst eintreten

würden, sondern man erreicht auch noch den Vortheil, dass man die ziemlich kostbaren Apparate vor Beschädigung und Entwendung sicher stellen kann. Eine solche Einrichtung ist mit Rücksicht auf die möglichste Raumersparung in Fig. 60 dargestellt, und es ist dabei angenommen, dass in festem Gesteine also durch Aufstossen des Bohrers gebohrt werden soll. Es dient hierzu der ungleicharmige Hebel *JK*, der sich um die Axe *L* dreht; seine Länge und sein Gewicht hängt von dem Gewichte des angehängten Gestänges ab, denn das Gestänge muss dem kürzern Arme das Uebergewicht geben und den Hebel von selbst in die hier gezeichnete Stellung bringen. Am Ende des längeren Armes sind einige starke Querarme angebracht, woran die Zugleinen befestigt sind, welche die Arbeiter herabziehen und dadurch das Gestänge heben; letzteres fällt hierauf von selbst nieder, wobei der Bohrer am Boden des Bohrloches aufstösst. Zuweilen lässt man auch die Arbeiter unmittelbar die Querarme herabdrücken. Die Wirkung des Bohrens wird aber vergrössert und die ganze Arbeit erleichtert, wenn der Bohrer, nachdem er den Stoss ausgeübt hat, sogleich zurückspringt, und dieses erreicht man, indem der Hebel mit einem elastischen Prellbalken *MN* verbunden wird, der hier unterhalb des Hebels gezeichnet ist, während man ihn häufig auch darüber legt, so dass der Hebel in seiner höchsten Erhebung unmittelbar dagegen schlägt. Um aber das erwähnte starke Aufstossen des Bohrers hervorzubringen, muss das Gestänge auch so aufgehängt sein, dass im Zustande des Gleichgewichts der Bohrer kaum den Boden des Bohrloches berührt, und hierzu dient die in der Figur dargestellte Befestigungsart; eine hinreichend starke Kette trägt das Kopfstück des Gestänges, welches mit einem Wirbel versehen ist; die Kette ist ferner über eine mit Eisen verkleidete Rinne am Kopfe des kürzeren Hebelarmes geführt und hier an einem Haken befestigt. Indem der Haken in jedes Glied der Kette passt, so kann man schon nach Maassgabe der Länge der Kettenglieder das Gestänge um 2 bis 3 Zolle verkürzen oder verlängern. Die feineren Verstellungen lassen sich aber noch durch die besondere Einrichtung des Hakens bewirken; derselbe ist nämlich nicht unmittelbar an dem Hebel befestigt, sondern er greift mit dem Stiele, der mit Schraubengewinden versehen ist, durch eine starke eiserne Oese in der obern Fläche des Hebels,

und eine Schraubenmutter, womit er sich gegen die Oese lehnt, giebt Gelegenheit, den Haken und die Kette schärfer anzuziehen oder etwas nachzulassen und dadurch jede gewünschte geringe Verstellung des Gestänges hervorzubringen. Endlich ist am obern Theile des Gestänges noch ein Hebel *O* angebracht, wodurch ein Arbeiter den Bohrer fortwährend dreht, damit das Bohrloch recht rund wird.

Soll das Gestänge gehoben werden, so fasst man es mit dem Haken *P*, der an einem starken Tau oder einem Seilbande befestigt ist, welches letztere durch irgend eine angemessene mechanische Vorrichtung aufgewunden werden kann. Hier ist ein Laufrad dazu gewählt worden, wie dieses häufig geschieht; dasselbe wird aber gemeinhin hinter den Hebel gestellt, und jedenfalls muss man dafür sorgen, dass die Welle des Laufrades nicht vom Hebel getroffen werden kann. Sobald nun das Gestänge aufgewunden wird, so senkt sich der Hebel und entfernt sich so weit von der horizontalen Stellung, dass der Kopf des kürzeren Armes, namentlich wenn die Kette zurückgeschlagen ist, nicht mehr das Ausheben des Gestänges hindert, während auch hier das Gestänge, mag es am Hebel oder am Hebezeuge hängen, immer in die verlängerte Axe des Bohrloches treffen muss. Zum Herablassen des Gestänges würde das Laufrad sehr unbequem sein, daher ist zu diesem Zwecke noch eine Bremsvorrichtung angebracht, die gegen eine besondere Bremsscheibe wirkt; letztere ist in der Figur nicht sichtbar.

In Frankreich pflegt man für das Bohren in Stein eine sehr abweichende Anordnung zu treffen. Das Seil, womit das Gestänge gehoben wird und welches auch hier über eine Rolle am obern Ende der Rüstung geführt ist, dient nämlich gleichzeitig zur Hervorbringung der kleinen Erhebungen, welche das wiederholte Aufstossen des Bohrers bewirken. Die Bewegung geht aber von einer Kurbel aus, welche mittelst Rad und Getriebe einige Hebedaumen bewegt; letztere greifen in einen andern Daumen am Rade derjenigen Welle, um welche obiges Tau geschlungen ist, und sonach wird dieses abwechselnd immer angezogen und gelöst, und dadurch bilden sich die beabsichtigten Stösse, deren Ausdehnung und Anzahl in einer Minute man durch Verstellung der Daumen willkührlich abändern kann. Der Prellbalken wird aber durch

starke Stahlfedern ersetzt. Eine nähere Beschreibung dieser ganzen Vorrichtung, welche man in der oben erwähnten Schrift von Pauluzzi findet, scheint hier nicht nöthig, indem die Uebertragung der schnell folgenden Stösse durch ein Seil weit weniger vortheilhaft sein möchte, als wenn man sich dazu des Hebels bedient. — Es muss aber noch bemerkt werden, dass bei tieferen Bohrlöchern der Bohrer nicht höher als etwa 6 Zoll gehoben werden darf, während man beim Beginne der Arbeit und bei kurzem Gestänge ihn wohl einen Fuss und selbst darüber herabfallen lassen darf.

Nachdem man einige Zeit hindurch im Steine gebohrt hat, muss der Bohrschlamm durch eine besondere Vorrichtung, nämlich die oben beschriebene cylindrische Röhre mit Ventil, oder den Löffel ausgeschöpft werden. Es würde aber sehr zeitraubend sein, wenn man den letzteren mittelst des Laufrades herablassen und heben wollte; daher ist an dem Löffel *Q*, wie die Figur zeigt, ein anderes Seil geschlungen, welches an einer leichten Winde *R* befestigt ist. Der Löffel verlangt im Allgemeinen eine grössere Hubhöhe als die Bohrer. Es ergiebt sich aus der Figur, wie das letzte Seil weder beim Gebrauche des Hebels, noch des Laufrades hinderlich ist. Endlich muss noch erwähnt werden, dass der Löffel auch eine Menge Wasser herauszubringen pflegt, für deren Abfluss wo möglich durch einen unterirdischen Canal am Boden des Schachtes gesorgt wird, wie die Figur zeigt.

Ueber das Bohren selbst ist nach dem, was bereits bei Gelegenheit der Bohrinstrumente erwähnt ist, wenig mehr zu erinnern. Wenn man im aufgeschwemmten Boden bohrt, so muss das Herabtreiben der Futterröhre nicht zu lange ausgesetzt bleiben, und namentlich in feinem Sande thut man wohl, die Röhre dem Bohrer sogar vorangehen zu lassen, indem man sonst die seitwärts herabfallenden Sandmassen ganz unnöthiger Weise mit herausbringt. Dagegen ist es bei einem thonigen oder festeren Boden immer von grosser Wichtigkeit, das Bohrloch recht weit zu eröffnen, oder sich fleissig der Krebsscheere und anderer Erweiterungsinstrumente vor dem jedesmaligen Herabtreiben der Röhre zu bedienen. Besteht die Röhre dabei noch aus gewalztem Eisenbleche, so wird es möglich, dieselbe Röhrentour mehrere hundert Fuss tief herabzutreiben, und dieser Umstand ist vom wesentlichsten Nutzen für das ganze Unternehmen. Degousée führt an, dass er

durch Beobachtung dieser Vorsichtsmaassregeln bei Mans mittelst drei Röhrensträngen bis auf 200 Meter herabgekommen wäre, während er dabei zehnmal durch Schichten flüssigen Sandes gehen musste.

Eine ganz besondere Aufmerksamkeit ist jedesmal auf die gute Erhaltung der Futterröhren zu verwenden, indem eine sehr zeitraubende und kostspielige Unterbrechung der Arbeit eintritt, wenn die Futterröhre herausgezogen und durch eine neue ersetzt werden muss. Zu diesem Zwecke ist zunächst für die solide und genaue Anfertigung der Röhren zu sorgen; die hölzernen Röhren werden, wie schon erwähnt, am untern Ende, wo der Bohrer, während er gedreht wird, sie immer berührt, mit eisernen Ausfütterungen versehen, und auch bei eisernen Röhren muss man diesen Theil besonders stark machen. Ferner ist es nothwendig, dass alle Unebenheiten im Innern möglichst vermieden werden und dieses ist bei den Röhren von gewalztem Eisenbleche am schwierigsten zu erreichen, indem die Ränder der übergelegten Bleche in den vertikalen Fugen und die Köpfe der Niethe oder Schrauben gewöhnlich etwas vorstehen. Es lassen sich jedoch bei vorsichtiger Arbeit die Uebelstände um Vieles vermindern; die Ränder können nämlich vor dem Zusammenbiegen der Bleche zu Röhren durch Ausschmieden oder Abfeilen etwas zugeschärft werden, so dass sie nicht mehr mit der ganzen Blechstärke vortreten, und alle Nieth- und Schraubenköpfe müssen die Gestalt flacher Tropfen haben, die, ohne einen scharfen Rand zu bilden, sich genau an die Röhrenwand anschliessen. Der letzte Umstand ist besonders wichtig, denn wenn ein Bohrer oder ein Fange-Instrument bei einmaligem Aufziehen eine solche Fuge zwischen dem Schraubenkopfe und der Röhre treffen sollte, so erweitert er sie sogleich, und da das Heben und Herablassen der Apparate sich viele tausend Male wiederholt, so wird am Ende eine Unregelmässigkeit dieser Art Veranlassung, dass das Nieth herausgerissen und die Röhre zerbrochen oder wenigstens verbogen wird.

Sodann ist es für die Schonung der Futterröhren von der äussersten Wichtigkeit, beim Herabtreiben derselben möglichst vorsichtig zu Werke zu gehen und namentlich nicht durch zu heftiges Rammen gewaltsam die Widerstände beseitigen zu wollen. Durch Erweiterung des Bohrloches darunter, durch Heben und

Drehen der Röhre gelingt es oft, auf eine viel minder gewagte Art zu demselben Zwecke zu kommen. Auch der todte Druck, namentlich wenn er durch Schrauben hervorgebracht wird, giebt zuweilen einen sehr günstigen Erfolg. Es ist hiervon noch nicht die Rede gewesen, daher muss ich darüber noch bemerken, dass es in diesem Falle nur darauf ankommt, Stützpunkte zu bilden, welche einem aufwärts gerichteten Drucke hinreichenden Widerstand leisten; die Darstellung derselben ist augenscheinlich viel schwerer, als wenn es sich um einen abwärts gerichteten Zug handelte, nichts desto weniger giebt die Einfassung des Schachtes, namentlich wenn sie beinahe senkrecht angebracht ist, hierzu eine passende Gelegenheit, und besonders wenn man die Zugbänder an eine Spundwand bolzen, oder wenn man abwärts geneigte Streben gegen die Umfassungsmauer des Schachtes lehnen kann. Endlich verdient hier noch Erwähnung, dass das oben beschriebene Instrument zum Glätten der Blechröhren auch zur Untersuchung der Futterröhren sehr zweckmässig benutzt werden kann.

Bei allen Bohrarbeiten ist es immer nöthig, die jedesmalige Tiefe genau zu kennen, und man thut daher wohl, bei der Zusammensetzung des Gestänges immer ein sorgfältiges Journal über alle angeschrobenen Glieder führen zu lassen, und zwar wenn dieselben nicht genau von gleicher Länge sein sollten, sie immer einzeln zu bezeichnen, damit man jedesmal bis auf den Zoll genau die Tiefe des Bohrloches kennt und man also immer weiss, wie weit die Futterröhre zurückgeblieben ist. Besonders wichtig ist diese Vorsicht aber bei einem Stangenbruche, oder wenn vielleicht ein Theil des Gestänges herabstürzt, weil man dann gleich weiss, bis zu welcher Tiefe das Fang-Instrument herabgelassen werden muss, damit es am sichersten fassen kann. Bei einer bemerkten Schadhaftigkeit der Futterröhren ist diese Rücksicht aber gleichfalls höchst wichtig, weil man bei sehr vorsichtiger Vorbeiführung der Bohrer an dieser Stelle vielleicht die Röhre noch einige Zeit conserviren, und wenn die ganze Bohrarbeit dem Schlusse nahe ist, auch wohl die Steigeröhre noch einbringen kann.

In festem Gesteine, welches zum Abbröckeln nicht geneigt ist, wird die Futterröhre gemeinhin nicht angewendet, und ihre Anbringung ist hier insofern auch besonders schwierig, als man

fortwährend Erweiterungsbohrer gebrauchen müsste, wenn man die Röhre mit dem Fortschreiten des Bohrloches auch immer tiefer einlassen wollte. Es treten jedoch beim Fortlassen dieser Röhre, namentlich für grössere Tiefen, manche Uebelstände ein. Das Gestänge ist nicht so steif, dass es sich nicht biegen sollte, und wenigstens der Theil, der unter dem Wechselstücke (Fig. 42) sich befindet, wird gewiss bei jedem Stosse des Bohrers sich einbiegen, aber auch selbst der darüber befindliche wird schwanken und bald hier, bald dort gegen die Wände des Bohrloches stossen. Auf solche Art findet bei dem fortwährenden Gegenstossen und Reiben ein starker Angriff der Wände statt, und die Masse des abgestossenen Materials ist der Länge des Bohrloches proportional, so dass sie bei einem tiefen unbefestigten Bohrloche viel grösser wird als diejenige, welche der Bohrer selbst löst und daher die eigentliche Bohrarbeit weit häufiger durch das Auslöffeln unterbrochen werden muss, was wieder den Nachtheil der öftern Wiederholung der so zeitraubenden Aushebung des Gestänges nach sich zieht. In dieser Beziehung erreicht man schon einen grossen Vortheil, wenn man etwa, nachdem 100 oder 200 Fuss die Bohrarbeit fortgesetzt ist, einen Röhrenstrang herablässt und dann mit einem Bohrer, der der lichten Weite dieser Röhre entspricht, die Arbeit fortsetzt. Bei Anwendung von Röhren aus gewalztem Eisen stehen dieser Methode keine wesentlichen Schwierigkeiten entgegen. Es bleibt indessen noch ein anderer grosser Uebelstand zu besorgen, wenn die Röhre nicht unmittelbar dem Bohrloche folgt, doch glücklicher Weise ereignet er sich wahrscheinlich nur selten, und wohl nur in dem Falle, wenn das Gebirge sehr ungleichförmig ist und etwa Kieselgeschiebe in der Kreide eingesprengt sind. Es kann sich nämlich unter diesen Umständen ereignen, dass der Bohrer auf der einen Seite einen festen Stein und auf der andern die weichere Hauptmasse trifft, was die Folge hat, dass der Bohrer sich nach der letzten Seite wendet und hier stark ausweicht, was man gar nicht bemerkt, sobald man nicht die feste Futterröhre benutzt, die wenigstens Gelegenheit geben würde, den Angriff des Bohrers auf das vorstehende feste Gestein zu richten. Es bedarf aber kaum der Erwähnung, dass die fernere Wirksamkeit des Bohrers sehr erschwert wird, wenn das Bohrloch an einer Stelle die senkrechte Richtung verlässt, wie es in

diesem Falle geschehen muss, und namentlich werden die Fange-Instrumente ihren Zweck ganz verfehlen, wenn sie gerade an solchen Stellen benutzt werden sollen. Bei einer Bohrarbeit war man 700 Fuss tief herabgegangen, als beim Heben des Bohrers ein Stangenbruch erfolgte und der grösste Theil des Gestänges herabstürzte, so dass das abgebrochene Ende etwa in 100 Fuss Tiefe zu suchen war. Alle Versuche, dasselbe zu heben, waren jedoch fruchtlos, und nachdem man ein halbes Jahr hindurch sich zu diesem Zwecke vergeblich bemüht hatte, so entschloss man sich endlich, um nicht die ganze Arbeit aufzugeben und dabei noch das kostbare Gestänge von 600 Fuss Länge zu verlieren, bis zu demselben einen 3 Fuss weiten Schacht herabzuführen, was in Beziehung auf den Wasserzufluss keine Schwierigkeit hatte. Hierbei zeigte sich nun der Grund sehr deutlich, weshalb alle Versuche zum Fassen des Gestänges missglücken mussten; es hatte nämlich der Bohrer hier ein eingesprengtes festes Geschiebe getroffen und er war dadurch so weit seitwärts getrieben, dass das Bohrloch, welches 5 Zoll Durchmesser haben sollte, nicht mehr kreisförmig, sondern elliptisch war, und zwar maass die grosse Axe bis 13 Zoll, während die kleine nur 5 Zoll hatte. Das abgebrochene Ende des Gestänges steckte aber in dieser Erweiterung gerade in demjenigen Scheitel der Ellipse, der von dem obern Theile des Bohrloches am weitesten entfernt war.

Zur Vollendung des Artesischen Brunnens gehört endlich noch die Steigeröhre, oder diejenige Röhre, durch welche der aufgeschossene Quell zur Erdoberfläche heraufsteigt. Die Steigeröhren sind, nachdem sie einmal eingebracht sind, keinen gewaltsamen Beschädigungen wie die Futterröhren ausgesetzt, dagegen muss man bei ihnen in der Wahl des Materials besonders vorsichtig sein, damit sie nicht durch das fortdauernd durchfliessende Wasser chemisch angegriffen werden, und überdies ist bei ihnen auch eine vollkommene Wasserdichtigkeit Hauptbedingung, damit sie weder einen Theil des aufgenommenen Quellwassers unterwegs ausfliessen lassen, noch auch dasselbe mit anderem minder reinen Wasser sich vermischen kann. — Was die erste Rücksicht betrifft, so erscheint die Anwendung des Eisens und namentlich die des Schmiedeeisens sehr bedenklich. Degousée führt an, dass sie nach vier bis fünf Jahren an einzelnen Stellen vom Roste zerfressen

werden und dann das Wasser entweichen lassen. Eine Verzinnung auf der innern Seite kann diesem Uebelstande kaum begegnen, da neben den Niethen und in den Stössen sich immer unbedeckte Stellen finden möchten, und namentlich wenn dieselbe Röhre schon beim Bohren als Futterröhre gedient hat, so muss man sich darauf gefasst machen, dass ein grosser Theil des Zinnüberzuges bereits abgescheuert ist. Die Einbringung neuer Röhren ist aber immer ein sehr schwieriges Unternehmen, indem dabei das Bohrloch zum Theil verschüttet zu werden pflegt und man sonach durch frisches Aufbohren das Bohrloch reinigen muss.

Um sehr Vieles dauerhafter sind die gusseisernen Steigeröhren; man dreht sie an den Enden sorgfältig ab, so dass sie scharf ineinander schliessen und versieht jeden Stoss mit vier Schraubenlöchern. Wenn sie aufgestellt werden sollen, bringt man in den Verbindungen, sowohl auf der innern, als auf den äussern abgedrehten Flächen, einen fettigen Ueberzug an, schiebt und dreht sie dann sorgfältig aufeinander und schraubt die Bolzen ein, doch müssen letztere weder von innen, noch von aussen vorstehen. — In schwefelhaltigem Wasser sind Zinkröhren besonders zu empfehlen. Von häufiger Anwendung und sehr dauerhaft sind aber dünne Kupferröhren, die man innen verzinnt und mit Hartloth in den vertikalen Fugen gelöthet hat; die verschiedenen Röhrenstücke werden aber mittelst übergeschobener Ringe und Schraubenbolzen verbunden, worauf man mit dem schon oben erwähnten Feuerkorbe die Röhre erwärmt und geschmolzenes Zinn hineingiesst. Die Blechstärke des Kupfers braucht nur 1 bis höchstens 2 Linien zu betragen. Diese Röhren haben den grossen Vorzug, dass sie etwas biegsam sind und sie sich daher selbst in einem etwas unregelmässigen Bohrloche noch ohne Beschädigung einbringen lassen. Die Kosten für solche Röhren sind freilich nicht unbedeutend, doch werden sie immer in Vergleich zu dem Arbeitslohne und zu den Kosten des Bohrens selbst sehr geringe ausfallen, und wenn man bei einer schwierigen Anlage dieser Art ein günstiges Resultat am Ende erreicht hat, so ist es gewiss keine Verschwendung, dieses für eine lange Reihe von Jahren zu sichern.

Sehr häufig wendet man zu den Steigeröhren auch hölzerne Röhren an, dieselben müssen aber aus einem Holze bestehen, das

weder den Geschmack des Wassers verdirbt, wie dieses z. B. beim Eichenholze (wenigstens im Anfange) der Fall ist, noch auch darf dasselbe besonders vergänglich sein. Gewöhnlich wählt man Kiefern- oder Ellernholz, und die Röhren, die etwa 8 Fuss lang sind, erhalten einen äussern Durchmesser von 7 Zoll und eine lichte Weite von 3 Zoll. Die Zusammensetzung der einzelnen Stücke geschieht am vortheilhaftesten auf die in Fig. 61 *a* in der Seitenansicht und *b* im Durchschnitte dargestellte Art, mittelst eines angeschnittenen Zapfens und eines eingelassenen breiten eisernen Ringes, der beide Enden überdeckt; von aussen werden dann noch drei oder vier Federn an beide Röhrenstücke genagelt, um eine festere Verbindung darzustellen. Beim Einsetzen der Röhrentour wird das obere Ende des bereits aufgestellten Theiles mit der Zwinge (Fig. 56) gefasst und so über dem Rahmen im Schachte gehalten; dann stellt man das nächste Verlängerungsstück ein, und indem die Zapfen sowohl als die Ringe sehr genau schliessend bearbeitet sind, so sind einige Schläge mit einer Handramme erforderlich, um beide Theile vollständig zu verbinden. Ist dieses geschehen, so werden die Federn aufgenagelt, und nunmehr wird eine zweite Zwinge an die eben aufgebrachte Röhre geschroben und mit dem Hebezeuge gefasst, worauf man die erste losschraubt und die ganze Röhre so weit herablässt, dass jene auf dem Rahmen aufliegt. Zuweilen versenkt man sie auch in der Art, dass die unterste Röhre auf einem passenden Klotze aufsteht, den das Gestänge trägt; indem man das Gestänge verlängert, schiebt man zugleich die folgenden Röhrenstücke auf, und wenn endlich die ganze Röhre eingestellt ist, so wird das Gestänge aus dem Klotze herausgeschroben, oder auf andere Art gelöst und der Klotz durchbohrt.

Beim Einbringen der Steigeröhren muss man mit der grössten Vorsicht zu Werke gehen, um jeder Beschädigung derselben vorzubeugen, wodurch ihr Zweck vereitelt werden würde; zeigt sich daher irgendwo ein Widerstand, der nicht durch vermehrten Druck oder sanftes Drehen verschwindet, so muss man die Röhren wieder in derselben Art, wie sie versenkt wurden, herausheben und zerlegen und zunächst die Aufräumung des Bohrloches vornehmen. Sollte es sich aber treffen, dass Theile der Steigeröhre sich lösen und in das Bohrloch herabstürzen, so hebt man sie

mittelst eines Fange-Instruments, welches unten in einer Spitze endigt, von der nach oben schräg gerichtet drei Federn ausgehen; indem die letzteren eine etwas grössere Fläche als den innern Querschnitt der Röhre umspannen, so treffen sie von unten die Röhrenwand und heben die Röhre. Dieses Instrument stimmt sonach ungefähr mit dem Fig. 49 dargestellten überein und unterscheidet sich nur darin, dass die Federn in umgekehrter Stellung angebracht sind.

Wenn die Steigeröhre eingebracht ist, so kann man, soweit es möglich ist, die Futterröhren entfernen, was aber häufig nicht gelingt; jedenfalls sucht man noch den leeren Raum, zunächst um die Steigeröhre auszufüllen und zwar entweder durch eingeschütteten sehr zähen Thon, oder noch häufiger durch schnell erhärtenden Mörtel, der aber die Eigenschaft haben muss, dass er auch unter Wasser bindet (Béton).

§. 14.

Das Seilbohren.

Nachdem die Ausführung der Artesischen Brunnen mit Anwendung eines festen Gestänges ausführlich beschrieben ist, kommt es noch darauf an, auch über das Seilbohren oder über das Bohren nach der Chinesischen Methode Einiges zu sagen.

Es ist bereits erwähnt worden, dass diese Methode weniger üblich ist, als die erste; sie findet ihre Anwendung nur im Felsboden und selbst hier zeigt sie sich für die regelmässige Fortsetzung der Bohrarbeit minder wirksam als jene. Der Vortheil des leichteren Herausnehmens und Einbringens der Bohrer wird nämlich durch die Unsicherheit der Wirkung desselben und sonach durch die vermehrte Anzahl der nöthigen Stösse mit dem Bohrer aufgehoben.*) Trifft es sich aber, dass Bohrer herabstürzen oder stecken bleiben, oder andere ähnliche Zufälligkeiten eintreten, dann stellt die Unzulänglichkeit dieser Methode sich am deutlichsten

*) Bei Artern versuchte man, während die Arbeit gerade in gutem Betriebe war, die Wirksamkeit dieser Methode, allein der Erfolg zeigte sich so unzulänglich, dass man sogleich zum festen Gestänge wieder überging.

hervor. Es bleibt ihr daher nur der Vortheil der mindern Kosten für die erste Anschaffung des Apparats, und dieser Umstand kann sie allerdings bei kleineren Bohrarbeiten in Felsboden zuweilen empfehlen, bei grösseren tritt aber wieder die starke Abnutzung des Seiles entgegen, welches an den Wänden des Bohrloches sich stark abschleift, auch wird die Elasticität des Seiles, die bei jedem einzelnen Stosse des Bohrers sich zeigt, bei zunehmender Tiefe sehr nachtheilig und bedingt einen weit höheren Hub des Seiles als der Bohrer erhalten soll, wodurch wieder ein grosser Theil der Betriebskraft unnütz verloren geht. Nach den bei Saarbrücken gemachten Erfahrungen muss ein 36 Lachter langes Seil oben schon 20 Zoll gehoben werden, damit der angehängte Bohrer 10 Zoll hoch springt. Eine Ausdehnung des Seiles findet übrigens auch schon beim ruhigen Hängen des Bohrers statt und daraus entspringt der Nachtheil, dass man beim Seilbohren die Tiefe des Bohrloches nie genau kennt. Zum Durchfahren loser Erdschichten, wenn dergleichen sich vorfinden sollten, kann bei Anwendung der Chinesischen Methode wieder nur die auf- und abwärts gerichtete Bewegung der Bohrer benutzt werden, und man hat Vorrichtungen ersonnen, wodurch man auch auf diese Art die weitere Vertiefung bewirkt, doch bleibt die Leistung dann sehr weit hinter der der Erdbohrer an festem Gestänge zurück.*)

Die Bohrer, die man beim Seilbohren anwendet, sind, insofern sie auf Felsboden benutzt werden sollen, genau übereinstimmend mit den oben beschriebenen; man darf sie aber nicht unmittelbar an dem Seile befestigen, weil sie dann gar zu unregelmässig aufstossen würden, man schraubt sie vielmehr an eine mehrere Fuss lange Axe, welche oben und unten mit Leitscheiben versehen ist, die nahe die ganze Weite des Bohrloches einnehmen und die überdies stark durchbrochen sind, damit sie bei der Bewegung durch das Wasser keinen zu grossen Widerstand verursachen. Sie dienen dazu, den Bohrer in der Richtung des

*) Ueber diesen Gegenstand handelt besonders ein Werk, betitelt: „die Bohrmethode der Chinesen oder das Seilbohren von Frommann. Coblenz 1835." Mehrere hierauf Bezug habende Aufsätze vom Obergrathe Sello befinden sich in Karsten's Archiv, auch enthält das oben angeführte Werk von Pauluzzi hierüber manche Notizen.

Bohrloches zu führen. Ein regelmässiges Versetzen oder Drehen des Bohrers kann bei Anwendung des Seiles nicht mehr stattfinden. Man begnügt sich damit, die eben erwähnte Axe oben mit einem leicht beweglichen Wirbel zu versehen, wodurch der Zweck noch am vollständigsten erreicht wird. Um so nöthiger ist es aber, durch die Bohrer mit den kreisförmigen Schneiden immer für die gehörige Abrundung und Aufräumung des Bohrloches zu sorgen. Namentlich ist dieses erforderlich, wenn Bohrlöcher, die etwa als Luftschachte für Stollen dienen, eine Weite von 1 bis 1½ Fuss erhalten, wie dieses in den Kohlenzechen bei Saarbrücken zur Ausführung gebracht ist.

Wenn es nöthig ist, das Bohrloch mit einer Futterröhre zu versehen, wobei dasselbe eine grössere Weite als der Bohrer erhalten muss, so geschieht dieses bei der Seilbohrmethode gewöhnlich auf die Art, dass die lange Axe mit den Leitrollen entfernt und dagegen der Kranz von Schneiden an einem kürzeren gusseisernen Blocke befestigt wird, dessen Aufhängungspunkt nicht in der Axe, sondern etwa um einen Zoll versetzt, an einer Seite befindlich ist. Schwebt dieser Apparat frei, so wird er augenscheinlich nicht senkrecht hängen, sondern diejenige Schneide, welche auf der Seite des Aufhängepunktes befindlich ist, tritt am weitesten vor, und sonach ist es möglich, durch sie das Bohrloch etwa um 2 Zoll zu erweitern, während der ganze Apparat noch mit Leichtigkeit durch die Röhre hin- und zurückgeschoben werden kann.

Zur Entfernung des Bohrschlammes dient auch hier der Löffel mit dem Ventile oder der Kugel, und mittelst desselben kann man auch flüssige Sandschichten, wenn solche angetroffen werden sollten, durchfahren. Trifft man aber einen schweren Boden und namentlich Thon, so wendet man in Frankreich einen Apparat an, der in zwei zugeschärften, auch wohl mit Zähnen versehenen geneigten Eisenplatten besteht, die unter 1 bis 2 Zoll von einander abstehen und nach oben zu sich etwas weiter entfernen. Beim wiederholten Aufstossen dringt die zähe Erde in die untere Spalte hinein und füllt nach und nach den Raum zwischen den beiden Platten, durch welche sie am Herausfallen gehindert wird.

Am unzulänglichsten zeigt sich die Seilbohrmethode, wenn es darauf ankommt, herabgefallene Gegenstände zu fassen, besonders wenn dieselben im Bohrloche feststecken. Alle beschriebenen

Fange-Instrumente werden beim Gebrauche gedreht, oder man versucht wenigstens in gewissen Richtungen sie zum Angriffe zu bringen; sobald aber das Seil das feste Gestänge ersetzt, so hört jedes sichere Einstellen und Drehen und Einschrauben auf, sie verlieren also ihre Wirksamkeit. Man hat daher besonders hier jene Scheeren und Zangen versucht, von denen oben die Rede gewesen ist und die zum Theil noch durch besondere Zugleinen geöffnet werden. Ich übergehe auch hier ihre nähere Beschreibung und will dafür nur den in Fig. 62 Taf. V. dargestellten Fangekorb erwähnen, der seinen Zweck zu erfüllen pflegt, wenn das Seil gerissen ist und es nur darauf ankommt, das herabgefallene Ende desselben zu fassen; er besteht aus vier Stahlfedern, die durch einen darübergleitenden starken Ring zusammengedrückt werden, damit letzterer sich aber regelmässig bewegt, so ist er mit einem zweiten Ringe verbunden, der die Axe des Korbes umfasst. Man schiebt beim Gebrauche des Instrumentes die Ringe so weit zurück, dass die Federn geöffnet sind, wie die Figur zeigt, und indem man den Apparat mit einiger Geschwindigkeit auf den Boden des Bohrloches aufstossen lässt, so sinkt der Ring tiefer herab und schliesst dadurch die Federn. Man giebt dem Korbe auch wohl die Einrichtung, dass bei fortgesetztem Drehen des Seiles der Ring herabgeschroben wird, allein es geschieht dann leicht, dass der ganze Korb die Drehung und Bewegung mit annimmt, wodurch die Schraube unwirksam wird und das bereits gefasste Seil herabfällt.

In Bezug auf das Seil ist noch zu erwähnen, dass man dasselbe zuweilen in gewissen Abständen mit hölzernen Kugeln versieht, um das Schleifen gegen die rauhen Felswände zu verhindern. Dieser Zweck wird indessen nur unvollständig erreicht, wenn man nicht die Kugeln so gross macht, dass sie nahe das ganze Bohrloch füllen und man sie überdies in Abständen von 6 bis 10 Fuss von einander anbringt; sie hindern dann aber in hohem Grade die Bewegung und entkräften beim Herabfallen den Stoss des Bohrers, namentlich wenn das Bohrloch mit Wasser gefüllt ist.

Eine einfache Vorrichtung für das Seilbohren, die der bei Saarbrücken benutzten sehr ähnlich ist, zeigt Fig. 63 und zwar *a* in der Seitenansicht und *b* im Grundrisse. Das Seil *A*, welches

den Bohrer trägt und in das Bohrloch herabhängt, ist über die starke und breite Rolle *B* geführt und sodann um die Welle des Spillrades *C* geschlungen, womit der Bohrer aufgewunden wird. Beim Herablassen des Bohrers dient ein Bremsapparat *D E*, der in einem Hebel besteht, welcher von unten gegen die Stirnfläche des Spillrades drückt. Soll der Bohrer oder auch der Löffel in Wirksamkeit gesetzt und abwechselnd gehoben werden und herabfallen, so wird in die Rolle *B*, die eben zu diesem Zwecke die grosse Breite erhalten hat, ein Hebel *F G* eingesteckt, der wieder mit einem elastischen Prellbalken *H J* in Verbindung gesetzt werden kann, die Rolle *B* ist aber mit sechs passend ausgestemmten Löchern versehen, von denen man im Grundrisse *b* zwei bemerkt, und ausserdem ist in ihrem Umfange eine Rinne neben diesen Löchern eingeschnitten, worin das Seil liegt. Will man den Hebel *F G* gebrauchen, der während des Herablassens des Bohrers natürlich entfernt werden musste, so dreht man das Spillrad so weit, dass der Bohrer auf dem Boden des Bohrloches aufsteht, und steckt den Hebel *F G* in dasjenige Loch, welches eine etwas steilere Stellung, als man erhalten will, bedingt. Sollte aber hier gerade kein Loch eintreffen, so kann man mittelst des Hebels leicht die Rolle *B* unter dem Seile so weit drehen, bis dieses erreicht ist. Nunmehr kommt es darauf an, das Seil an der Rolle *B* zu befestigen; zu diesem Zwecke drückt man es von oben fest auf, lässt das Spillrad zurücklaufen und fasst eine Schlinge des Seiles unter dem Hebel, zieht dieselbe um den Hebel herum und zwischen dem Seile und der Rolle durch und bindet sie mit einer dünnen Leine am Hebel scharf an. Diese Schlinge wird besonders durch das Seil, das sie gegen die Rolle drückt, festgehalten werden, und die Leine, womit sie noch angebunden wird, hat daher keineswegs den ganzen Zug auszuhalten; man muss aber dafür sorgen, dass diese Leine nicht längs dem Hebel gleiten kann, und ausserdem ist es zur Schonung des Seiles auch nothwendig, die scharfen Kanten des Hebels zu brechen und abzurunden. Hierauf drückt man den Hebel herab und verbindet ihn mittelst einer Leine oder eines Riemens mit dem Prellbalken. Sobald die Arbeiter einige Uebung erlangt haben, wird es ihnen immer glücken, das Seil so zu befestigen, dass nach dem von selbst erfolgenden Festziehen des Knotens der Bohrer in der

passenden Höhe hängt, während der Hebel die bequemste Stellung einnimmt. Es wird nunmehr der Hebel unmittelbar herabgedrückt, und indem das Uebergewicht auf der andern Seite der Rolle befindlich ist, so schnellt er wieder von selbst zurück, während der Bohrer herabfällt und aufstösst. Man muss aber, wie schon erwähnt, beim Seilbohren die Hubhöhe vergrössern, indem ein Theil derselben durch die Elasticität des Seiles verschwindet und ausserdem das geringere Gewicht und die vermehrte Reibung die Kraft des Stosses sehr mässigen.

Bei der Bohrarbeit, die man seit einem Jahre bei Ehrenbreitstein behufs der Eröffnung warmer Quellen begonnen hat, ist statt des Seiles eine dünne eiserne Schiene angewendet worden; dieselbe gewährt den Vortheil, dass sie nicht so stark federt als ein Seil und daher die erwähnte Vergrösserung der Hubhöhe bei ihr nicht mehr nöthig ist, sodann ist es aber auch wahrscheinlich, dass ihre Abnutzung nur unbedeutend ausfallen wird. Die eiserne Schiene oder das Eisenbandseil hat eine Breite von 3 Zoll und eine Stärke von $\frac{1}{12}$ bis $\frac{1}{10}$ Zoll; die einzelnen Theile sind durch sorgfältiges Verniethen mit einander verbunden. Man hat sich durch vorherige Versuche überzeugt, dass das nothwendige abwechselnde Krümmen der Schiene (beim Aufwinden) und Geradeziehen (beim Herablassen) keinen Bruch veranlasst, wenn die Krümmung nach einem recht grossen Halbmesser erfolgt. Aus diesem Grunde hat sowohl die Rolle, die das Eisenbandseil in das Bohrloch führt, als auch die Welle, auf der es aufgewunden wird, einen Durchmesser von 5 Fuss erhalten. Das Aufstossen des Bohrers wird sehr zweckmässig dadurch hervorgebracht, dass dicht über der Schiene zwischen der erwähnten Rolle und der Winde das lose Ende des elastischen Prellbalkens schwebt, welches wieder mit einem Kreissegmente, zum Radius von $2\frac{1}{2}$ Fuss gehörig, versehen ist; sobald daher die Arbeiter den Prellbalken herabziehen, so bildet sich in der Schiene eine dritte Krümmung, wodurch der Bohrer gehoben wird, der beim Nachlassen der Zugseile wieder herabfällt und dabei aufstösst. Die ganze Einrichtung ist vom Ober-Hütteninspector Althans in Sayner-Hütte angegeben. *)

*) Beschreibung des Verfahrens bei den Bohrversuchen nach warmen Quellen in Ehrenbreitstein. Coblenz 1838.

Zum Schlusse mag hier noch in wenig Worten des sogenannten articulirten Gestänges Erwähnung geschehen, welches Selligue beim Bohrbrunnen neben der Kriegsschule in Paris anwendete und welches zwischen dem festen Gestänge und dem Seile ungefähr in der Mitte steht. Es war nämlich nach der Seilbohrmethode das Bohrloch auf etwa 600 Fuss herabgetrieben, als das Seil riss und der Bohrer sich dabei so fest einklemmte, dass er nicht mehr mit den Zangen am Seile gefasst und gehoben werden konnte. Die fruchtlosen Versuche, ihn herauszuschaffen, verursachten aber ein so starkes Abbröckeln von den Seitenwänden, dass der Bohrer bald einige Fuss hoch mit Steinschutt bedeckt war und auf diese Art alle Hoffnung verschwand, ihn mit den vorhandenen Apparaten wieder zu erreichen. Selligue musste sich nun zur Benutzung eines festen Gestänges entschliessen, er richtete dasselbe aber so ein, dass es sich um eine Trommel winden liess und dadurch schneller gehoben und gesenkt werden sollte. Die einzelnen Glieder, die 10 Fuss lang waren und eine Stärke von 9 Linien hatten, wurden nämlich durch gabelförmige Verbindungen und durch je zwei Schraubenbolzen zusammengesetzt, es fehlte jedoch die Verzahnung, die Garnier der grösseren Festigkeit wegen angebracht hatte (Fig. 11), und so verwandelten sich die Verbindungen in Charniere, sobald ein Bolzen daraus entfernt wurde; und das Gestänge liess sich alsdann um ein dreiseitiges Prisma aufwinden. Obgleich diese Anordnung recht sinnreich ist und sie auch vielen Beifall gefunden hat, so war der Nutzen derselben doch sehr unbedeutend, denn da das erwähnte Prisma nicht die Vorrichtung hatte, dass es bei der Drehung sich auch seitwärts verschob, so fingen die Glieder, während sie sich aufrollten, bald an sich an den bereits auf dem Prisma befindlichen stark zu klemmen, und diese mussten daher entfernt werden, was gewiss die Arbeit ausserordentlich erschwerte. Ausserdem aber kann durch Verbindungen dieser Art wohl kein steifes Gestänge dargestellt werden und sonach scheint diese Erfindung keine besonderen Vortheile zu versprechen.

Dritter Abschnitt.

Wasserleitungen.

Dritter Abschnitt.

Wasserleitungen.

§. 15.

Ausfluss des Wassers durch Oeffnungen in dünnen Wänden.

Bei Anordnung von Wasserleitungen und namentlich bei Bestimmung der Dimensionen derselben muss man auf die Gesetze zurückgehen, wonach das Wasser durch Oeffnungen ausfliesst und wonach es sich in Röhren und zum Theil auch in offenen Gerinnen bewegt. Es sind hierüber eine Menge von Beobachtungen angestellt worden, welche zu sehr beachtenswerthen Resultaten geführt haben, und man ist dadurch in der That in den Stand gesetzt, den Effect einer neuanzulegenden Leitung mit einiger Sicherheit vorherzusehen, wenigstens wird eine sorgfältige Berücksichtigung der gemachten Erfahrungen in weit höherem Grade vor Missgriffen schützen, als wenn man bei der Aufstellung des Projectes zu einer solchen Anlage nur einer oberflächlichen Schätzung und einem dunkeln Gefühle sich überlassen wollte. Die Mittheilung dieser Erfahrungen und der daraus gezogenen Folgerungen, und zwar innerhalb der Grenzen, wo sie bei Wasserleitungen und andern hydrotechnischen Anlagen ihre Anwendung finden, dürfte sich daher in einem Handbuche der Wasserbaukunst im Allgemeinen schon rechtfertigen; dieselbe scheint aber nothwendig, indem die neueren Untersuchungen diese Gegenstände in mancher Beziehung anders erscheinen lassen, als man sie gewöhnlich darzustellen pflegt. Hierzu kommt noch, dass in den meisten Lehrbüchern die wichtigsten Gesetze der Hydraulik mit derselben Sicherheit und Bestimmtheit vorgetragen werden, als wenn sie sich, wie mathematische Sätze, vollständig begründen liessen und sie durch die Erfahrung überall bestätigt würden. Beides findet nicht statt; bei der unendlichen Complication der Verhältnisse, die bei der Bewegung des Wassers eintreten, kann

man selbst in den einfachsten Fällen nicht mit Sicherheit das Resultat voraussehen. Ueberall muss hier die Erfahrung und Beobachtung zu Rathe gezogen werden, und zwar nicht nur um die einzelnen constanten Factoren zu bestimmen, sondern auch um die Gesetze selbst zu prüfen. Die Resultate der Beobachtungen stimmen nun aber keineswegs so genau unter einander, dass sie gar keinem Zweifel Raum geben sollten. Es handelt sich also hier nur um wahrscheinliche Resultate, und man muss untersuchen, ob die präsumirten Gesetze wirklich die wahrscheinlichsten sind, welche die Erfahrungen ergeben und ausserdem welchen Grad der Sicherheit sie haben. *) Sobald man von diesem Gesichtspunkte ausgeht, so überzeugt man sich leicht, dass fast allen Regeln und Gesetzen der Hydraulik, die man gewöhnlich aufstellt, eine genügende Begründung fehlt und die meisten sogar im Allgemeinen sehr unwahrscheinlich sind und nur innerhalb gewisser Grenzen ungefähr gelten können. Für die meisten Wissenschaften, die sich auf Erfahrungen gründen, möchte wohl derselbe Vorwurf passen; nur die Astronomie und sehr wenige Theile der Physik scheinen davon eine Ausnahme zu machen. Man ist immer sehr geneigt, dieses zu verschweigen, doch schadet man gerade dadurch der Wissenschaft, denn die Mängel derselben lassen sich nur beseitigen, wenn man sie zuvor als solche erkannt hat.

Dieses sind die Gründe, die mich veranlassen, die wichtigsten Grundsätze der Hydraulik hier vorzutragen, und zwar mache ich den Anfang mit dem Ausflusse des Wassers durch Oeffnungen in der Wand eines Behälters und gehe dann zu den Röhrenleitungen über. Die Bewegung des Wassers in offenen Gerinnen wird aber am passendsten und allgemeinsten erst im zweiten Theile bei Gelegenheit der Ströme behandelt werden können.

Es ist ein bekanntes Gesetz der Hydrostatik, dass der Druck, den das Wasser auf jeden kleinen Theil der Wände eines Behälters ausübt, dem Gewichte eines Wasserprisma's gleichkommt, welches eben diesen Theil der Wand zur Grundfläche und den

*) In dem Werkchen: „Grundzüge der Wahrscheinlichkeits-Rechnung, Berlin 1837," habe ich mich bemüht, die Regeln dieser Rechnungsart auf einem einfachen und anschaulichen Wege herzuleiten und sie durch mehrfache Anwendung auf solche Fälle, die aus der Praxis des Baumeisters entnommen sind, klar zu machen.

verticalen Abstand derselben vom freien Wasserspiegel zur Höhe hat; dieser Druck wirkt aber normal gegen die Wandfläche. Bei grösseren Theilen der Wand, wo theils der Abstand vom Wasserspiegel, theils aber auch die Richtung der Wandfläche verschieden sein kann, lässt sich das Gesetz über Stärke und Richtung des Druckes nicht mehr so kurz aussprechen; aus der Zusammensetzung der verschiedenen Pressungen, die sich auf die einzelnen Theile äussern, kann man indessen immer die Resultante darstellen; und wenn der Theil der Wand, den man betrachtet, eben und horizontal ist, so gilt für ihn das angegebene Gesetz vollständig, und es wird beinahe noch gelten, wenn die Fläche eben und die Abstände derselben von dem Horizonte des freien Wasserspiegels unter sich nicht merklich verschieden sind. — Es ergiebt sich hieraus, dass die Wassertheilchen sich sämmtlich in einer Spannung oder unter einem Drucke befinden, welcher ihrer Druckhöhe oder ihrer verticalen Entfernung vom Wasserspiegel entspricht. Das Wasser ist aber elastisch, und sonach werden alle Theilchen mit demselben Drucke, den sie erleiden und ausüben, auch sich zu entfernen streben, sobald sie von einer Seite frei werden. Denkt man also, dass plötzlich an einer Stelle die Wand des Gefässes beseitigt wird, so werden die zunächst liegenden Wassertheilchen, indem sie sich sehr schnell wieder ausdehnen und eben deshalb die nächstfolgenden stossen und von ihnen gestossen werden, einen Impuls erhalten, der wieder dem verticalen Abstande vom Wasserspiegel oder der Druckhöhe entspricht, oder sie nehmen dieselbe Geschwindigkeit an, welche sie erhalten hätten, wenn sie aus der Höhe des Wasserspiegels bis zu der der Oeffnung frei herabgefallen wären. Im Allgemeinen können jedoch nur die ersten Wassertheilchen diese Geschwindigkeit annehmen, die folgenden werden nur in dem Falle ebenso heftig ausspritzen, wenn der Druck vor der Oeffnung sich nicht vermindert, was zuweilen geschieht. So pflegt beim schnellen Oeffnen des Hahns an manchen Springbrunnen der Strahl sich im ersten Momente viel höher zu erheben als später, wenn die regelmässige Strömung in der Röhre eingetreten ist, und aus gleichem Grunde spritzt der eben erbohrte Artesische Quell unter dem vollen hydrostatischen Wasserdrucke viel höher, als dieses später geschieht, sobald der Druck nur nach Maassgabe des Zuflusses sich ersetzt.

Das Wasser, welches durch die kleine Oeffnung in der Wand des Behälters ausströmt, ersetzt sich nun aber mittelbar durch diejenige Wasserschicht, welche zunächst die freie Oberfläche bildete, denn es entsteht nicht etwa vor der Oeffnung, oder an einer andern Stelle im Innern der Wassermasse ein leerer Raum, sondern vielmehr senkt sich der Wasserspiegel. Wenn man daher unter dem allgemeinen mechanischen Gesichtspunkte die Verhältnisse beurtheilt, so kommt man zu dem Resultate, dass die ausströmende Wassermenge wirklich die Geschwindigkeit hat, die der ganzen Druckhöhe entspricht; dabei ist aber angenommen, dass gar keine Widerstände eintreten, welche etwa einen Verlust an lebendiger Kraft veranlassen. Es kommt darauf an, zu prüfen, inwiefern die Erfahrung dieses bestätigt.

Nimmt man ein Gefäss, welches an einer Seite durch eine treppenartig geformte Fläche begrenzt wird, und zwar in der Art, dass diese Fläche den horizontalen Querschnitt des Gefässes nach oben zu verengt, so kann man durch Einbohren feiner Oeffnungen in denjenigen horizontalen Stellen dieser Wand, welche den Trittstufen einer gewöhnlichen Treppe entsprechen, springende Strahlen unter verschiedenen Druckhöhen hervortreten lassen. Füllt man nun das Gefäss bis an den Rand mit Wasser an und sorgt dafür, dass es gefüllt bleibt, so bemerkt man, dass die sämmtlichen Strahlen beinahe die Höhe des Randes erreichen. Da nun nach den allgemeinen Gesetzen der Mechanik die Geschwindigkeit eines frei aufsteigenden Körpers genau in derselben Art abnimmt, wie die des frei fallenden Körpers zunimmt, so kann man wohl den Schluss ziehen, dass die bemerkten geringen Unterschiede nur vom Widerstande der Luft herrühren, und dass die Geschwindigkeit, womit das Wasser herausspritzt, eben so gross ist, als wenn dasselbe von der Oberfläche bis zur Ausflussöffnung frei herabgefallen wäre. Diesen Satz sprach zuerst Torricelli im Jahre 1643 aus und er hatte die Begründung desselben in dem eben angeführten Versuche gefunden.

Es blieb indessen ungewiss, ob die erwähnte geringe Verminderung der Steighöhe nur durch den Widerstand der Luft veranlasst wird, oder ob vielleicht die Geschwindigkeit des austretenden Wassers nicht ganz so gross ist, als jenes Gesetz besagt.

Die Versuche von Michelotti haben die Richtigkeit der ersten Voraussetzung und sonach auch den Torricellischen Lehrsatz bestätigt. Bei diesen Versuchen wurde aber nicht die Höhe des springenden Strahls gemessen, die niemals mit Sicherheit bestimmt werden kann, vielmehr liess Michelotti den Strahl aus einer verticalen Wand hervorspringen und bestimmte die Curve, welche er bildete. Wenn der Torricellische Lehrsatz richtig wäre, so hätte der Strahl eine halbe Parabel beschreiben müssen, deren Parameter der vierfachen Druckhöhe gleich ist. Michelotti bestimmte durch Messung der Coordinaten die Parameter von drei Parabeln, die sich unter Druckhöhen von ungefähr 7, 12 und 22 Fuss bildeten und er fand die Verhältnisse der wirklichen Druckhöhen zu denen, die sich unter obiger Voraussetzung aus der Messung ergaben, gleich

1 : 0,993
1 : 0,988 und
1 : 0,983,

woraus man ersieht, dass die Unterschiede bei kleineren Druckhöhen und folglich bei kleineren Geschwindigkeiten, wo also auch der Widerstand der Luft geringer ist, noch nicht ein Procent erreichen; mit der zunehmenden Geschwindigkeit wachsen sie aber etwas an, und dieser Umstand bestätigt die Voraussetzung, dass hierin nur der Widerstand der Luft sich zu erkennen giebt.

Man sollte hiernach vermuthen, dass die Wassermenge, die in der Zeiteinheit durch eine kleine Oeffnung abfliesst, gleich sein würde dem Producte aus dem Flächeninhalte der Oeffnung in die Geschwindigkeit, welche der Druckhöhe entspricht. Dieses ist indessen keineswegs der Fall, denn alle Beobachtungen zeigen, dass wirklich viel weniger Wasser ausfliesst. Diese Beobachtungen geben aber auch sehr deutlich zu erkennen, dass unter übrigens gleichen Umständen die Wassermengen der Quadratwurzel aus der Druckhöhe proportional sind, oder dass sie zu jenem Producte in einem bestimmten Verhältnisse stehen. So ergiebt sich durch Interpolation der von Poncelet und Lesbros gefundenen Resultate, dass durch eine quadratische Oeffnung von 2 Decimeter oder 7,39 Pr. Zoll Seite, unter dem Drucke von

0,40 — 0,70 — 1,00 — 1,30 und 1,60 Meter,

Wassermassen ausflossen, die sich zu einander verhielten, wie

1,000 : 1,330 : 1,590 : 1,806 : 2,000

was sehr genau mit dem Verhältnisse der Quadratwurzeln aus den Druckhöhen übereinstimmt, dieses ist nämlich

1,000 : 1,323 : 1,581 : 1,803 : 2,000

Es lässt sich sonach die wirklich ausfliessende Wassermenge berechnen, wenn der Flächeninhalt der Oeffnung in einem bestimmten Verhältnisse verkleinert, oder mit einem aus den Beobachtungen hergeleiteten constanten Factor multiplicirt wird; letzteren nennt man gewöhnlich den Contractions-Coefficienten. Die genaue Ermittelung desselben hat seit langer Zeit die Physiker beschäftigt, und wenn gleich der grösste Theil der angestellten Beobachtungen und Messungen nur in sehr kleinem Maassstabe ausgeführt ist, so befinden sich darunter doch manche, die sich auf grössere Oeffnungen beziehen und deren Resultate daher eine sichere Anwendung auf Schützöffnungen und dergleichen gestatten. Unter den älteren Beobachtungen dieser Art sind besonders die von Michelotti, sowohl dem Vater als dem Sohne, sehr wichtig; beide benutzten dazu das Wasser des Doria, den sie in einiger Entfernung von Turin nach einem Thurme führten, der nur zu diesem Zweck gebaut war und wo sie das Gefälle beliebig bis auf 24 Fuss vergrössern konnten.

Unter den neueren Arbeiten müssen dagegen besonders die von Poncelet und Lesbros erwähnt werden, die sich ebensowohl durch die angewandte Sorgfalt, als auch dadurch auszeichnen, dass eine sehr grosse Wassermenge, die beliebig aus der Mosel entnommen wurde, zu den Versuchen verwendet werden durfte. Eine kurze Beschreibung der Beobachtungsmethode und des ganzen Apparates *) wird schon insofern hier nicht überflüssig sein, als die verschiedenen Rücksichten und Vorsichtsmaassregeln, die man bei Anstellung hydraulischer Messungen zu nehmen hat, sich dabei sehr klar herausstellen; ausserdem aber wird sich hiernach auch um so sicherer die Zuverlässigkeit der gefundenen Resultate beurtheilen lassen. Die Versuche wurden auf Veranlassung des französischen Kriegsministeriums in den Jahren 1827 und 1828 angestellt, und die Vorkehrungen, die dabei getroffen waren, sind

*) *Expériences hydrauliques sur les lois d'écoulement de l'eau, par Poncelet et Lesbros.* Paris 1832.

folgende. Innerhalb der Festungswerke zu Metz, woselbst diese Beobachtungen angestellt wurden, hat die Mosel ein Gefälle von 4 Meter; dieses konnte jedoch nur zum kleinen Theil als Druckhöhe für den ausfliessenden Wasserstrahl benutzt werden, denn der grösste Theil desselben war für das zweckmässige und bequeme Auffangen und Abführen des ausströmenden Wassers erforderlich. Die grösste Druckhöhe, die man darstellte, betrug $1\frac{1}{2}$ Meter oder $4\frac{3}{4}$ Fuss. Die vorhandenen Bassins und Stauanlagen, welche im fortificatorischen Interesse hier bestehen, eigneten sich nicht zu den Beobachtungen, indem das Spiel derselben nicht gestört werden durfte. Es wurde sonach ein besonderes Bassin für das Druckwasser von ungefähr 1600 Quadratmeter oder 112 Quadratruthen Flächeninhalt ausgegraben und mit Deichen eingeschlossen, welches durch einen Zuleitungscanal mit dem Oberwasser der Mosel in Verbindung stand. Es konnte beliebig trocken gelegt und bis 3,7 Meter oder $11\frac{3}{4}$ Fuss mit Wasser angefüllt werden. Um den Wasserstand in diesem Bassin auf jeder Höhe constant zu erhalten, während bei jedem Versuche eine verschiedene Wassermenge consumirt wurde, war es nöthig, den Ab- und Zufluss willkührlich zu reguliren und ausserdem die Höhe des Wasserstandes sehr genau zu messen. Jener Zuleitungscanal wurde demnach mit einem Schütz versehen, und aus dem Bassin wurde das Wasser nicht nur durch die Oeffnungen abgeführt, deren Ergiebigkeit man gerade messen wollte, sondern ausserdem noch durch einen seitwärts belegenen Grundablass, und dieser wurde besonders zur Regulirung des Wasserstandes benutzt, sobald einige Veränderung desselben sich bemerken liess. Der Grundablass hatte zugleich den Zweck, das Bassin am Schlusse jeder Beobachtungsreihe trocken zu legen. Bei der grossen Ausdehnung des Bassins erzeugte jedoch theils der Wind einen merklichen Wellenschlag, theils aber liessen sich auch nach Maassgabe des jedesmaligen Abflusses gewisse partielle Strömungen darin erkennen. Beide Uebelstände wurden beseitigt, indem eine Weidenpflanzung in dem Bassin angelegt wurde.

Zur Beobachtung des Wasserstandes dienten besondere Marqueure oder Maassstäbe am Ufer; an diesen liessen sich mittelst Stellschrauben andere Maassstäbe sanft verschieben, deren Theilung mit der der ersteren Nonien bildete; von den letzteren führten

aber herabgebogene Stahlspitzen nach dem Wasserspiegel, deren Berührung sich sehr genau beobachten liess; die einzelnen Millimeter (oder 0,46 Pr. Linien) konnte man unmittelbar ablesen, doch gaben sie keineswegs die Grenze der Genauigkeit an, vielmehr war es unter günstigen Umständen nicht schwer, eine weit schärfere Einstellung zu machen, wobei denn auch die Zehntheile von Millimetern noch geschätzt wurden. Von diesen Maassstäben waren an dem erwähnten Bassin drei angebracht, die während der Versuche fortdauernd beobachtet wurden; der erste befand sich ohnfern der Mündung des Zuleitungscanals, der zweite in einer Entfernung von 4 Meter von der Abflussöffnung und der letzte unmittelbar neben derselben, und zwar diente dieser hauptsächlich, um die Senkung des Wasserspiegels über der Oeffnung zu messen. Diese drei Marqueure liessen sich sehr scharf mit einander vergleichen, sobald man die Ab- und Zuflüsse im Bassin sperrte und das Wasser sich dadurch ins Niveau setzte. Die Durchflussöffnung, in welcher der zu untersuchende Strahl sich bildete, war vierseitig und zwar 2 Decimeter oder 7 Zoll $7\frac{1}{4}$ Linien Preussisch breit und eben so hoch in einer Messingplatte genau ausgeschnitten. Man hatte aber, um das Eintreten aller derjenigen Erscheinungen zu vermeiden, welche schon bei kurzen Röhren vorzukommen pflegen und wovon später die Rede sein wird, diese quadratische Oeffnung durch eine Schneide eingefasst, welche in derjenigen Oberfläche der Messingplatte lag, die dem Druckwasser zugekehrt war. Dass diese Platte mit grosser Vorsicht eingesetzt war, so dass die Ränder der Oeffnung wirklich horizontal und vertical lagen, bedarf kaum der Erwähnung; doch muss darauf aufmerksam gemacht werden, dass mittelst des dritten Marqueurs auch die Höhe des untern Randes der Oeffnung bestimmt werden konnte, sobald man das Wasser im Bassin weit genug gesenkt hatte. Die Oeffnung wurde nun durch ein messingenes Schütz, das an seinem untern Rande gleichfalls zugeschärft war (jedoch hier in eine sehr feine Schneide auslaufen musste), geschlossen, und der Maassstab an der Zugstange liess die jedesmalige Höhe der Oeffnung beurtheilen. Hierbei zeigten sich indessen manche Schwierigkeiten, denn die Platte, die das Schütz bildete, bog sich merklich ein und die Zugstange behielt auch nicht unverändert ihre Länge, woher die Anbringung von Absteifungen und vielfachen

anderen Vorsichtsmaassregeln und Correctionen nöthig wurde. Diese Bemerkung darf keineswegs dem Verdachte Raum geben, dass hierbei Unrichtigkeiten vorgekommen wären, sie soll vielmehr nur den Punkt bezeichnen, wobei eine Veränderung des Apparats am meisten wünschenswerth blieb.

Das ausströmende Wasser wurde hierauf durch ein hölzernes Gerinne aufgefangen, welches dasselbe nach dem Unterwasser der Mosel führte; und man liess durch dieses jedesmal so lange den Strahl ausspritzen, ohne seine Ergiebigkeit zu messen, bis die Zu- und Abflüsse vollständig regulirt waren, oder bis man sich durch Beobachtung der Marqueure überzeugt hatte, dass das Wasser in dem Bassin weder stieg noch fiel, sondern dass es seine Höhe unverändert beibehielt. Sobald dieser Zeitpunkt eingetreten war, ging man zur Bestimmung der Wassermenge über, und hierzu diente ein hölzerner Kasten unter dem Gerinne, der ungefähr 25000 Liter oder 808 Pr. Cubikfuss fassen konnte. Ueber diesem Kasten befand sich im Boden des Gerinnes eine Klappe, bei deren Oeffnung die ganze durchfliessende Wassermenge in den Kasten stürzte; wurde also beim Schlage einer bestimmten Secunde die Klappe geöffnet und nach dem Verlaufe einer passenden Anzahl von Secunden wieder geschlossen, so fing man in dem Kasten die ganze Wassermenge auf, die während dieser Zeit vorbeiströmte, oder die in einer gleichen Zeit aus der Oeffnung geflossen war. Die erwähnte Klappe schloss indessen nicht scharf genug, um ein Durchtröpfeln des Wassers zu verhüten; diese kleine Quantität würde aber offenbar schon vorher in den Kasten gekommen sein und dadurch die während der Beobachtungszeit aufgefangene Wassermenge etwas vergrössert haben. Man brachte deshalb noch eine zweite leichte Rinne unmittelbar über dem Kasten an, die jedesmal beim Oeffnen und Schliessen der Klappe auch zurückgezogen oder vorgeschoben wurde.

Um endlich die in dem Kasten aufgefangene Wassermenge genau zu kennen, genügte es nicht nur, die Höhe der Füllung in demselben zu messen, denn man konnte nicht voraussetzen, dass er genau genug prismatisch bearbeitet sei, und ausserdem zeigte es sich, dass bei zunehmender Füllung die Wände sich etwas ausbauchten. Man stellte daher neben den Kasten ein am

Boden mit einem Hahne versehenes Fass auf, dessen Inhalt durch sorgfältige Füllung mit einem Decalitermaasse gleich 968 Liter oder 845 Preuss. Quart gefunden wurde. Dieses füllte man nun wiederholentlich mit Wasser an und entleerte es in den Kasten; bei letzterem wurde aber jedesmal mit einem Marqueure, der denen am Bassin ganz gleich war, die Höhe des Wasserspiegels gemessen, und man konnte sonach auch umgekehrt durch einfaches Ablesen des Marqueurs den jedesmaligen Inhalt des Kastens ermitteln. — Der Kasten hatte übrigens am Boden einen Hahn, damit er leicht geleert werden konnte, und ausserdem wurde er bei denjenigen Beobachtungen, wo die Wassermengen nicht gross waren, durch Zwischenwände verkleinert, um eine grössere Schärfe der Messung zu erhalten.

Dieses sind im Allgemeinen die Vorkehrungen, die Poncelet und Lesbros trafen. Um nun aus diesen Beobachtungen den Contractions-Coefficienten zu bestimmen, oder das Verhältniss der wirklich ausfliessenden Wassermenge gegen diejenige zu ermitteln, die man erhalten würde, wenn durch alle Theile der Oeffnung das Wasser mit der Geschwindigkeit durchströmte, die der jedesmaligen Druckhöhe entspricht, so muss zunächst untersucht werden, ob die augenscheinlich vorhandene Differenz in der Druckhöhe ausser Betracht gelassen werden darf, oder ob sie auf das Resultat einen merklichen Einfluss behält. Bei sehr kleinen oder niedrigen Oeffnungen ist offenbar die im Mittelpunkte derselben stattfindende Druckhöhe als die gemeinschaftliche zu betrachten, und wenn b die Breite einer unendlich schmalen Oeffnung, dh die Höhe derselben und h die mittlere Druckhöhe bedeutet, während g wie gewöhnlich den Raum bezeichnet, den ein frei fallender Körper in der ersten Secunde durchläuft; so würde man, wenn keine Contraction stattfände, die Wassermenge finden

$$dM = 2\,b\,.\,dh\,.\,\sqrt{gh}$$

Den Fall, wo auch b variabel ist, wie dieses etwa bei kreisförmigen Oeffnungen geschieht, lasse ich hier ausser Betracht, indem er für die angestellten Beobachtungen nicht von Wichtigkeit ist. Es folgt hiernach

$$M = \frac{4}{3}\,b\,.\,\sqrt{g}\,.\,h\,.\,\sqrt{h} + Const.$$

Versteht man nun unter h diejenige Druckhöhe, die dem Mittelpunkte der Oeffnung entspricht, und nennt man a die ganze Höhe der Oeffnung, so erhält man

$$M = \frac{4}{3} b \sqrt{g} \left[(h + \frac{1}{2} a)^{\frac{3}{2}} - (h - \frac{1}{2} a)^{\frac{3}{2}} \right]$$

oder
$$M = \frac{2}{3} b h \,.\, 2 \sqrt{g h} \left[(1 + \frac{a}{2h})^{\frac{3}{2}} - (1 - \frac{a}{2h})^{\frac{3}{2}} \right]$$

Für den Fall, dass die Oeffnung über den Wasserspiegel hinausreicht, kommt natürlich der obere Theil, der kein Wasser abführt, nicht weiter in Betracht, und man hat alsdann

$$h = \frac{1}{2} a$$

und sonach
$$M = \frac{4}{3} b h \,.\, 2 \sqrt{2 g h}$$

und wenn man die Druckhöhe über dem untern Rande der Oeffnung mit H bezeichnet,

so ist
$$h = \frac{1}{2} H$$

also
$$M = \frac{2}{3} b H \,.\, 2 \sqrt{g H}$$

Das heisst, es wird in diesem Falle der dritte Theil weniger ausfliessen, als wenn die ganze Oeffnung dem Drucke H ausgesetzt wäre.

Wenn dagegen der obere Rand der Oeffnung unter dem Wasserspiegel liegt, oder wenn

$$\frac{1}{2} a < h$$

ist, so kann man den obigen Werth für M durch Auflösung der Binomien in eine stark convergirende Reihe verändern; man erhält nämlich

$$M = a b \,.\, 2 \sqrt{g h} \left(1 - \frac{1}{96} \cdot \frac{a^2}{h^2} - \frac{1}{2048} \cdot \frac{a^4}{h^4} - \ldots \right)$$

Der Factor vor der Parenthese bezeichnet die Wassermenge, welche durch die Oeffnung ausfliessen würde, wenn die Druckhöhe überall gleich h wäre, und man kann die Reihe in der Parenthese oder den zweiten Factor unbedenklich gleich Eins setzen, oder die Verschiedenheit des Druckes vernachlässigen, sobald $\frac{a}{h}$ ein kleiner Bruch oder auch nur ein ächter Bruch ist. Wenn $a = h$ ist, oder wenn der Wasserspiegel um die halbe Höhe der Oeffnung über

dem oberen Rande der Oeffnung steht, so wird der Fehler, den man durch Unterlassung der Correction einführt, etwa 1 Procent betragen; bei der Unsicherheit, womit die meisten Beobachtungen behaftet sind, dürfte dieser Grad der Schärfe genügen. Hiernach ist in den nachstehend mitgetheilten Resultaten die Aenderung des Druckes nur bei den Ponceletschen Beobachtungen und denen, die an Schleusenschützen angestellt sind, berücksichtigt worden.

Ich theile zunächst die Resultate älterer Beobachtungen über den Contractions-Coefficienten mit, und zwar in der Art, wie d'Aubuisson *) dieselben zusammengestellt hat, jedoch sind die Dimensionen der Oeffnungen, sowie auch die Druckhöhen über den Mittelpunkten derselben auf Preussisches Maass reducirt:

A. Kreisförmige Oeffnungen.

Beobachter	Durchmesser	Druckhöhe	Contractions-Coefficient.
1) Mariotte . . .	3,1 Linien	5,69 Fuss	0,692
2) Derselbe . . .	3,1 „	25,17 „	0,692
3) Castel	4,6 „	0,16 „	0,673
4) Derselbe . . .	4,6 „	0,99 „	0,654
5) Derselbe . . .	6,9 „	0,44 „	0,632
6) Derselbe . . .	6,9 „	0,96 „	0,617
7) Eytelwein . .	1 Zoll	2,35 „	0,618
8) Bossut. . . .	1,04 „	4,14 „	0,619
9) Michelotti . .	1,04 „	7,10 „	0,618
10) Castel	1,15 „	0,53 „	0,629
11) Venturi . . .	1,57 „	2,80 „	0,622
12) Bossut. . . .	2,06 „	12,14 „	0,618
13) Michelotti . .	2,06 „	7,01 „	0,607
14) Derselbe . . .	3,10 „	7,14 „	0,613
15) Derselbe . . .	3,10 „	12,14 „	0,612
16) Derselbe . . .	3,10 „	21,54 „	0,597
17) Derselbe . . .	6,20 „	6,72 „	0,619
18) Derselbe . . .	6,20 „	11,66 „	0,619

*) *Traité d'hydraulique à l'usage des Ingénieurs par J. E. d'Aubuisson de Voisins.* Paris 1834. Indem ich dieses Buch nenne, muss ich die besondere Klarheit des Vortrages in demselben rühmend erwähnen.

B. Quadratische Oeffnungen.

Beobachter	Seite des Quadrats	Druckhöhe	Contractions-Coefficient.
1) Castel	4,6 Linien	0,16 Fuss	0,655
2) Bossut. . . .	1,03 Zoll	12,14 „	0,616
3) Michelotti . .	1,03 „	12,14 „	0,607
4) Derselbe . . .	1,03 „	21,76 „	0,606
5) Bossut. . . .	2,06 „	12,14 „	0,618
6) Michelotti . .	2,06 „	7,14 „	0,603
7) Derselbe . . .	2,06 „	12,20 „	0,603
8) Derselbe . . .	2,06 „	21,60 „	0,602
9) Derselbe . . .	3,13 „	7,20 „	0,616
10) Derselbe . . .	3,10 „	12,20 „	0,619
11) Derselbe . . .	3,10 „	21,73 „	0,616

C. Rechteckige breite Oeffnungen.

Beobachter	Höhe der Oeffnung	Breite der Oeffnung	Druckhöhe	Contractions-Coefficient.
1) Bidone . . .	0,35 Zoll	0,75 Zoll	1,05 Fuss	0,620
2) Derselbe . . .	0,35 „	1,41 „	1,05 „	0,620
3) Derselbe . . .	0,35 „	2,82 „	1,05 „	0,621
4) Derselbe . . .	0,35 „	5,65 „	1,05 „	0,626

D. Beobachtungen von Poncelet und Lesbros an rechteckigen Oeffnungen von 7,647 Zoll Breite.

Höhe der Oeffnung.	Contractions-Coefficienten für verschiedene Wasserstände über dem obern Rande der Oeffnung			
Zolle	zwischen 5 Fuss u. 2 Fuss	zwischen 2 Fuss u. 6 Zoll	zwischen 6 Zoll u. 2 Zoll	unter 2 Zoll.
7,646	0,603	0,602	0,599	0,593
3,823	0,613	0,617	0,613	0,611
1,912	0,619	0,629	0,630	0,624
1,147	0,624	0,632	nicht beobachtet	0,643
0,764	0,625	0,642	0,656	0,667
0,382	0,623	0,649	0,679	0,702

In Bezug auf die letzte Tabelle, welche die Ponceletschen Resultate enthält, bemerke ich, dass die angeführten Werthe der Contractions-Coefficienten grossentheils Mittelzahlen aus mehreren

Beobachtungen sind, die innerhalb derjenigen Grenzen des Wasserstandes angestellt wurden, welche die Ueberschriften der einzelnen Columnen bezeichnen. Diese Wasserstände (nicht Druckhöhen) sind über dem oberen Rande der Oeffnung gemessen, wodurch sich etwas mehr Uebereinstimmung zwischen den einzelnen Coefficienten herausstellt. Hierbei ist ferner die unmittelbar über der Oeffnung eintretende Senkung des Niveau's nicht berücksichtigt, sondern die Druckhöhe ist vielmehr aus dem Wasserstande hergeleitet, den der zweite, in 4 Meter Entfernung aufgestellte, Marqueur bezeichnete. Wenn man die Senkung des Wasserspiegels mit berücksichtigen wollte, wie dieses Poncelet auch gethan hat, so findet man weit grössere Anomalien, und bei den kleinsten Wasserständen steigern sich die Werthe der Coefficienten bis gegen 0,8. Die Contractions-Coefficienten sind aber in der Art berechnet, dass die wirklich ausfliessenden Wassermengen mit denjenigen verglichen wurden, welche man erhalten würde, wenn durch jeden horizontalen Schnitt der Oeffnung das Wasser ohne Contraction nur nach Maassgabe des darüber Statt findenden Druckes ausströmte. Endlich muss ich noch bemerken, dass ich hier nur diejenigen Beobachtungen berücksichtigt habe, die im Jahre 1828 angestellt sind, indem die im vorhergehenden Sommer gemachten Beobachtungen nicht so sorgfältig, als diese berechnet werden konnten.

Die angeführten sämmtlichen Beobachtungen zeigen, dass eine gewisse Uebereinstimmung der Werthe des Contractions-Coefficienten nicht zu verkennen ist, und dass derselbe im Allgemeinen zu wachsen scheint, wenn das Verhältniss der Druckhöhe zur Höhe der Oeffnung zunimmt. Für die in der Praxis vorkommenden Fälle, wo grosse Oeffnungen und verhältnissmässig kleine Druckhöhen sich am häufigsten wiederholen, dürfte man am wenigsten fehlen, wenn man den Coefficienten gleich 0,61 annimmt. — Die Darstellung einer Interpolationsformel, welche für jede Weite der Oeffnung und jede Druckhöhe den Werth des Coefficienten angiebt, wie dieses Lesbros für die Beobachtungen der Tabelle D versucht hat, übergehe ich hier, da der Mangel an Uebereinstimmung mit den andern Beobachtungen doch immer nicht erlaubt, eine grosse Sicherheit den auf diese Art berechneten Resultaten beizumessen, wenigstens gewiss nicht, sobald sie jenseits der Grenzen liegen,

welche die Beobachtungen selbst umfassen. Als erschöpfend kann man die vorliegenden Bearbeitungen dieses Gegenstandes nicht betrachten, sie zeigen indessen eine Uebereinstimmung, wie man sie in den andern Theilen der Hydraulik nicht wiederfindet, und wenn sich sonach die Praxis hiermit auch vorläufig begnügen kann, so bleibt es doch nur zu wünschen, dass die noch vorhandenen Zweifel gelöst und dass namentlich durch verschiedene Modificationen der Experimente die vorkommenden Anomalien erklärt und überhaupt die Ursache der Contraction des Strahles bestimmt nachgewiesen würde. Merkwürdig ist es, dass kreisförmige und quadratische Oeffnungen unter übrigens gleichen Umständen, beinahe dieselbe Contraction zeigen; nur bei einem sehr flachen Strahle nimmt nach den Beobachtungen von Bidone und Poncelet der Contractions-Coefficient sehr merklich zu.

Es ist bisher nur von dem einfachsten Falle die Rede gewesen, wo der Strahl aus der Oeffnung frei heraustritt, er also nicht etwa in einen zweiten mit Wasser angefüllten Behälter mündet, und dass er auch die ganze Höhe der Ausflussöffnung einnimmt, was nicht geschieht, wenn der Wasserstand im ersten Behälter niedriger ist, als der obere Rand der Oeffnung. In der Praxis ereignen sich häufig diese beiden angedeuteten Modificationen, und es kommt darauf an, zu prüfen, ob die Resultate dadurch wesentlich verändert werden.

Das Austreten des Strahles geschieht nicht mehr frei, sondern unter Wasser, sobald die Ausflussöffnung zwei Behälter mit einander verbindet, die beide bis über den obern Rand der Oeffnung mit Wasser angefüllt sind. Der an der Oeffnung Statt findende Druck wird, nach Verschiedenheit der Wasserstände, auf beiden Seiten durch einen gewissen Gegendruck zum Theil aufgehoben, und die Druckhöhe, wonach der Impuls bestimmt wird, den das Wassertheilchen in der Oeffnung erhält, ist nichts anderes, als die Niveau-Differenz des Wassers von der einen und der andern Seite. Man sollte sonach vermuthen, dass unter diesen Umständen das Wasser ganz in gleicher Art überströmen müsste, wie es durch dieselbe Oeffnung und unter einem Wasserdrucke, welcher der Niveau-Differenz gleichkommt, frei in die Luft ausgeströmt wäre; eine Verschiedenheit des Druckes und

der Geschwindigkeit in den höheren und tieferen Theilen der Oeffnung wird hier aber nicht mehr eintreten können. Es fragt sich, ob dieses wirklich in dieser Art geschieht, und namentlich, ob der Contractions-Coefficient hier noch eben so gross ist, wie er früher gefunden wurde. Vielfache Beobachtungen haben dieses bestätigt, und gezeigt, dass durch gleiche Oeffnungen bei gleichem Drucke auch gleiche Wassermengen abfliessen, und dass der Umstand, ob der Strahl frei in die Luft oder unter Wasser austritt, keinen Unterschied macht. Besonders wichtig sind in dieser Beziehung die Messungen, die man über die Zeit der Füllung von Schleusenkammern angestellt hat. Die Resultate, welche Eytelwein in seinem Handbuche der Hydraulik in Betreff der Füllung der zweiten massiven Schleuse am Bromberger Canale anführt und welche sich auf zwei verschiedene Höhen des Schützenzuges beziehen, gehören ganz hierher, indem man die Beobachtungen nicht früher anfing, als bis der Wasserspiegel in der Schleuse über den obern Rand der Einflussöffnung getreten war. Die Breite der Oeffnung betrug beide Male 2 Fuss, ihre Höhe das erste Mal 1 Fuss 4 Zoll und das zweite Mal 1 Fuss 9½ Zoll; die Druckhöhe war im Anfange der Beobachtung gleich 7 Fuss, sie verminderte sich aber in dem Maasse, wie die Schleusenkammer sich füllte, und die Beobachtung geschah in der Art, dass man die Zeiten notirte, in welchen das Wasser um 1 Fuss, 2 Fuss u. s. w. gestiegen war. Wenn man die letzte Angabe vernachlässigt, oder diejenige, welche sich auf die vollständige Füllung der Kammer bezieht, was sich natürlich nicht scharf beobachten lässt, so folgt aus der ersten Beobachtungsreihe der Contractions-Coefficient gleich 0,613, aus der letzten dagegen 0,636. Die einzelnen Beobachtungen zeigen aber solche Abweichungen, dass dieser Unterschied der Hauptresultate nicht gerade auffallen darf.

Aehnliche Beobachtungen führt auch Navier in der neuen Ausgabe von Belidor's *Architecture hydraulique* und d'Aubuisson im angeführten Werke an, die theils an einer Schleuse des Canal du Midi und theils an einer zu Hâvre angestellt sind; jene geben den Contractions-Coefficienten bei verschiedenen Wiederholungen zwischen 0,594 und 0,647, im Mittel aber 0,625 und diese bei einmaliger Messung auch gleich 0,625. Es muss aber bemerkt werden, dass bei diesen beiden Beobachtungen der Strahl Anfangs

noch nicht unter Wasser ausströmte, sondern dieses erst gegen die Mitte jedes Versuches geschah; nichts desto weniger können auch diese Messungen zur Bestätigung des aufgestellten Satzes dienen, indem sie wenigstens zeigen, dass keine sehr grosse Abweichung stattfindet. Die Berechnung solcher Beobachtungen und die Herleitung des Contractions-Coefficienten aus denselben geschieht in der Art, dass für die Zeit, wo ein Theil der Oeffnung unter und ein Theil über dem Spiegel des Wassers in der Schleusenkammer sich befindet, jener nach der zuletzt aufgestellten Regel, und dieser nach der früheren als frei ausfliessender Strahl behandelt werden muss; was aber das allmälige Steigen des Wassers in der Schleusenkammer und die Einführung des Ausdruckes für die Zeit betrifft, in welcher eine bestimmte Höhe erreicht wird, so braucht hiervon, als von einer rein analytischen Aufgabe, hier nicht die Rede zu sein.

In Betreff der zweiten von den beiden angedeuteten Modificationen, wo nämlich die Ausflussöffnung bis über den Wasserstand im Behälter herausreicht und sonach die Wasserfäden in dem obern Theile des Strahles gar keinem Drucke ausgesetzt sind, so ist hierüber schon oben bemerkt worden, dass für den Wasserstand H über dem untern Rande der Oeffnung, und wenn keine Contraction stattfände, die ausfliessende Wassermenge betragen müsste

$$M = \frac{2}{3}\, b\, H \,.\, 2\sqrt{g H}$$

Es kommt darauf an, zu prüfen, ob die Beobachtungen auch hier einen Contractions-Coefficienten ergeben, der dem oben gefundenen ungefähr gleich ist. Dass das Wasser in dem obern Theile des austretenden Strahles sich gar nicht bewegen sollte, insofern es keinem Drucke ausgesetzt ist, ist gewiss nicht richtig, da es offenbar von den darunter befindlichen Schichten, auf welchen es frei aufliegt, mit fortgerissen wird; dagegen aber zeigt sich bei diesen Beobachtungen auch eine sehr starke Senkung des Wasserspiegels vor der Oeffnung, und wenn man daher diese unbeachtet lässt und die Druckhöhe nach dem Niveau bestimmt, wie es sich in einiger Entfernung vor der Oeffnung zeigt, so wird dadurch offenbar gewissermaassen eine Ausgleichung hervorgebracht und man kann wenigstens nicht *a priori* eine wesentliche Verschiedenheit der Gesetze bestimmt erwarten.

Zur Ermittelung des Contractions-Coefficienten für diesen Fall sind wieder vielfache Messungen angestellt. Bidone fand ihn nach drei Beobachtungen gleich 0,607 und aus anderen sechs Beobachtungen im Mittel gleich 0,603; ferner d'Aubuisson im Mittel aus sechs Beobachtungen bei den sehr kleinen Wasserständen von 1 bis 2 Zoll gleich 0,617. Besonders wichtig sind hier aber die Messungen von Poncelet und die, welche Eytelwein in seinem Handbuche der Hydraulik anführt. Ich mache mit den letzteren den Anfang; sie wurden in einem Bache neben Bromberg vom Bau-Inspector Kypke angestellt.

Breite der Oeffnung	Druckhöhe über dem unteren Rande	Contractions-Coefficient.
0,500 Fuss	1,250 Fuss	0,632
0,833 „	0,900 „	0,621
1,167 „	0,720 „	0,633
1,500 „	0,596 „	0,640
2,146 „	0,480 „	0,619
3,448 „	0,344 „	0,633

Bei den Beobachtungen von Poncelet und Lesbros war dagegen die Breite der Durchflussöffnung wieder gleich 2 Decimeter oder 7,647 Zoll, während die Druckhöhen, oder die Niveau-Differenzen zwischen dem ungesenkten Wasserspiegel und dem untern Rande der Ausflussöffnung verschieden angenommen wurden.

Druckhöhen	Contractions-Coefficient.
7,95 Zoll	0,583
6,23 „	0,589
3,94 „	0,593
2,33 „	0,600
1,72 „	0,610
0,88 „	0,624

Poncelet selbst findet die Contractions-Coefficienten grösser und viel weniger mit einander übereinstimmend, als sie hier angegeben sind, und dieses deshalb, weil er die von Navier für diesen Fall eingeführte Berechnungsart zum Grunde legt; bei

derselben werden die lebendigen Kräfte aus der Senkung des Wasserspiegels hergeleitet und daraus die in Vergleichung gestellten Wassermengen berechnet.

Wie ich diesen Gegenstand hier vorgetragen habe und wie ihn auch Eytelwein dargestellt hat, so stimmen die Contractions-Coefficienten recht gut mit denjenigen überein, die man für den ersten Fall gefunden hat, wo nämlich das Wasser im Ausflussbehälter noch den obern Rand der Oeffnung bedeckte. Für die in der Praxis sich am meisten wiederholenden Fälle kann man auch hier den Mittelwerth zu 0,61 annehmen. Man erlangt bei dieser Darstellung aber noch den Vortheil, dass man auf die Senkung des Wasserspiegels vor der Oeffnung nicht weiter Rücksicht zu nehmen braucht und man der sehr ungewissen Schätzung derselben ganz überhoben ist. Diese Senkung des Wasserspiegels und ihre Ausdehnung braucht daher hier auch nicht näher untersucht zu werden.

Nachdem nun gezeigt worden, dass die Wassermenge, welche durch die Oeffnung in der Wand eines Gefässes ausfliesst, nicht so gross ist, als man nach der Grösse der Oeffnung und nach dem Wasserstande darüber erwarten sollte, sondern dass sie in einem, beinahe constanten Verhältnisse jederzeit kleiner ausfällt, und nachdem schon früher nachgewiesen ist, dass die Geschwindigkeit des ausströmenden Wassers wirklich der jedesmaligen Druckhöhe entspricht, so kann jener Unterschied der Wassermengen nur dadurch erklärt werden, dass der Wasserstrahl an der Stelle, wo er die volle Geschwindigkeit erreicht hat, was jedenfalls in der Nähe der Oeffnung geschehen muss, einen Querschnitt bildet, der in einem constanten Verhältnisse kleiner, als der Flächeninhalt der Oeffnung ist. Die Beobachtungen zeigen auch sehr deutlich, dass der Strahl beim Austreten aus der Oeffnung dünner wird, und dieses nicht nur, wenn er senkrecht herabfällt, wo die Abnahme seines Durchmessers eine Folge der Beschleunigung wäre, welche die Wassertheilchen bei dem nunmehr eintretenden freien Falle erfahren, sondern die Verminderung des Durchmessers zunächst der Oeffnung findet genau in gleicher Art auch statt, wenn der Strahl horizontal, oder wenn er senkrecht aufwärts spritzt.

Der einfachste Fall ist der, wenn die Oeffnung kreisförmig ist, und hierbei hat man schon seit langer Zeit die eintretende

Verminderung des Durchmessers durch directe Messung zu bestimmen versucht; so lange man dieses aber durch Abmessen mit einem Tasterzirkel aus freier Hand thun wollte, konnte es nicht fehlen, dass man den Durchmesser im Allgemeinen etwas zu gross darstellen musste, indem man die geringste Einsenkung der Zirkelspitze in den Strahl sehr auffallend bemerkte, während andererseits eine geringe Entfernung davon sich nicht so leicht zu erkennen gab. Die Resultate der früheren Messungen ergaben, dass der Durchmesser des Strahles sich im Vergleiche zu der Oeffnung ungefähr im Verhältnisse, wie 1 zu 0,80 vermindert. Michelotti's Beobachtungen gaben indessen ein etwas verschiedenes Resultat, welches die nachstehende Tabelle zeigt.

Druckhöhe	Durchmesser der Oeffnung	kleinster Durchmesser	Abstand des letzten von der Oeffnung.
6,7 Fuss	6,209 Zoll	4,902 Zoll	2,45 Zoll
11,7 „	6,209 „	4,894 „	2,45 „
7,1 „	3,104 „	2,439 „	1,22 „
12,1 „	3,104 „	2,432 „	1,19 „
21,5 „	3,104 „	2,344 „	1,15 „

Vernachlässigt man die kleinen Differenzen, die eine Verminderung des kleinsten Durchmessers des Strahles bei zunehmendem Drucke zeigen, so nimmt nach den ersten beiden Beobachtungen der Durchmesser des Strahles im Verhältnisse von 6,209 zu 4,898 und nach den drei letzten im Verhältnisse von 3,104 zu 2,405 ab, und es folgt daraus der Coefficient für die Verminderung des Durchmessers des Strahles 0,789 und 0,775 und für die des Querschnittes des Strahles 0,622 und 0,601. Das Mittel aus den beiden letzten Werthen ist zufälliger Weise wieder sehr nahe dem obigen Contractions-Coefficienten oder dem Verhältnisse 0,61 gleich, und es ergiebt sich hieraus, dass die unmittelbare Messung des Querschnittes des Strahles dieselbe Verminderung zeigt, welche man aus der ausströmenden Wassermenge hergeleitet hat. Hiernach erklärt und rechtfertigt sich auch die Benennung Contractions-Coefficient. — In der letzten Columne der vorstehenden Tabelle sind endlich noch die Abstände der stärksten Contraction des Strahles von der Oeffnung angegeben; die Be-

stimmung derselben ist indessen ziemlich unsicher und es kommt hierauf für den vorliegenden Zweck auch nicht weiter an, woher ich nur bemerke, dass dieser Abstand ungefähr dem halben kleinsten Durchmesser gleichkommt. Der Theil des Strahles, der zunächst der Oeffnung liegt, bildet also einen abgestutzten Kegel, bei dem das Verhältniss des Radius der unteren Grundfläche zu dem der oberen und zum Abstande beider ist, wie

$$50 : 39 : 39$$

Wenn die Ausflussöffnung nicht kreisförmig ist, sondern eine geradlinige Figur bildet, so zeigt sich die auffallende Erscheinung, dass die Querschnitte des Strahles nicht mehr der Oeffnung entsprechen, sondern in geringem Abstande von der letzteren die vortretenden Ecken abgestumpft werden, und weiterhin bilden sich sogar statt derselben tiefe Furchen, wogegen der Strahl in der Mitte der Seiten stark vortritt; so geschieht es, dass bei regelmässigen Figuren sich einige Aehnlichkeit mit der Form der Ausflussöffnung in einiger Entfernung wieder zeigt, jedoch mit dem Unterschiede, dass die Ecken nunmehr gerade auf die Mitte der Seiten treffen. Am genauesten haben Poncelet und Lesbros diese Erscheinung beobachtet, indem sie in bestimmten Entfernungen kleine Rahmen um den Strahl anbrachten, von welchen aus sie scharfe Stahlspitzen bis zur Berührung gegen den Strahl schroben und dadurch seine Form aufs Genaueste bestimmten. Diese Messungen sind insofern sehr wichtig, als sie auf manche Umstände hinweisen, die beim freien Ausflusse des Wassers in Betracht kommen, und in dieser Beziehung habe ich in Fig. 69 und 70 auf Taf. VI. die Seitenansicht und die Querschnitte des Strahles mitgetheilt, wie die Messungen sie ergaben. Die Seitenansicht Fig. 69 zeigt einen Strahl, der aus einer quadratischen Oeffnung von 2 Decimeter oder 7,647 Zoll Weite unter einem Drucke von 1,68 Meter oder 5,353 Fuss über dem Mittelpunkte der Oeffnung ausströmt; die mit *a*, *b*, *c* u. s. w. bezeichneten punktirten Linien weisen die Stellen nach, wo die auf gleiche Art bezeichneten senkrechten Querschnitte gemessen sind. Bei letzteren ist zugleich die Lage der Oeffnung angegeben worden, um die Höhe des Querschnittes mit selbiger bequem vergleichen zu können. Es ergiebt sich aus diesen Querschnitten deutlich die oben bezeichnete Form des Strahles. Der Einfluss der Schwere lässt sich in den

letzten Profilen schon merklich erkennen, indem nicht nur der Strahl sich im Allgemeinen senkt, und der untere Flügel sich viel weiter verlängert als der obere, sondern ausserdem bemerkt man auch deutlich, wie beide Seitenflügel in dem Profile *i* sich schon abwärts neigen. Weiterhin behält der Strahl nicht mehr die constante Form, und es tritt ein Ablösen einzelner Tropfen ein, woher die Messung nicht weiter ausgedehnt werden konnte.

Poncelet und Lesbros haben für die gemessenen Querschnitte auch die Flächeninhalte berechnet; ich will diese Resultate hier gleichfalls mittheilen und zwar nur, um zu zeigen, dass der von Poncelet berührte scheinbare Widerspruch gegen ein bekanntes Gesetz der Mechanik einen sehr natürlichen Grund hat, was sich aus Poncelet's Darstellung nicht ergiebt. Die Flächen der einzelnen Querschnitte und ihr Verhältniss zur Fläche der Oeffnung sind folgende:

Profil	Abstand: Centimeter	Querschnitt: Quadrat-Centimet.	Verhältniss.
—	0,0	400,00	1,000
a	6,4	252,05	0,630
b	11,0	245,12	0,613
c	15,0	237,46	0,594
d	20,0	233,01	0,583
e	25,0	232,04	0,580
f	30,0	225,06	0,563
g	35,0	239,48	0,599
h	40,0	243,62	0,609
i	45,0	244,27	0,615

In dieser Art stellt Poncelet selbst in einer Tabelle die Resultate zusammen; die starke Verminderung der Fläche im Profile *f* hat ihn jedoch späterhin bewogen, die Nachmessung der Fläche (jedoch nicht am Strahle selbst, sondern nur aus der früher aufgenommenen Figur desselben) zu wiederholen, und er fand sie gleich 226,925 und bei nochmaliger Wiederholung gleich 226,848 Quadrat-Centimeter, woraus sich das Verhältniss zur Fläche der Oeffnung gleich 0,567 ergiebt, was schon etwas grösser ist, als die Angabe in der Tabelle. Wenn man aber die Differenzen mit einander vergleicht, welche die Werthe der letzten Columnen unter sich bilden, so lassen diese ein ziemlich complicirtes Gesetz vermuthen,

aber besonders auffallend sind dennoch die Unregelmässigkeiten, die das Profil *f* zeigt, und man kann sonach nicht umhin, einigem Verdachte in Bezug auf die Richtigkeit der Messung Raum zu geben; man müsste aus diesem Grunde aber vermuthen, dass dieses Profil und sonach auch das Verhältniss desselben grösser ausfiele, als es hier angegeben ist.

Der gegen das Profil *f* angeregte Zweifel erklärt indessen noch keineswegs die starke Verengung, oder die grosse Geschwindigkeit des Strahles in allen nächsten Profilen. Ich will die Resultate der Rechnung hier speciell mittheilen: die Oeffnung hat eine Breite und eine Höhe von 20 Centimeter, die Druckhöhe über ihrem Mittelpunkte beträgt 1,68 Meter, und es flossen wirklich aus, nach Poncelet's Angabe, 137,778 Liter. Wenn man die Oeffnung als Grundfläche eines Wasserprismas betrachtet, das mit der Geschwindigkeit austritt, die dem Drucke entspricht, so würde man erhalten 229,63 Liter, und zwar macht es hierbei keinen Unterschied, ob man die Verschiedenheit des Druckes auf die verschiedenen Theile der Oeffnung in Betracht zieht, oder nicht; es ändert sich dabei nur die letzte Decimalstelle um einige Einheiten. Hiernach ergiebt sich ein Contractionsverhältniss von 0,6000, oder in einem Profile von 240,00 Centimeter Flächeninhalt würde die Geschwindigkeit so gross sein, wie sie dem mittleren Wasserdrucke auf die Oeffnung entspricht; nun sind aber die fünf Profile *c*, *d*, *e*, *f* und *g* kleiner als 240 Centimeter, daher muss in ihnen die Geschwindigkeit grösser sein, oder die Summe der lebendigen Kräfte hat sich vermehrt. Eine gründliche Untersuchung dieses merkwürdigen Factums darf nicht umgangen werden, wenn nicht nur die ganze obige Herleitung, sondern sogar der Lehrsatz von der Erhaltung der lebendigen Kräfte bei der Anwendung auf den vorliegenden Fall zweifelhaft erscheinen sollte.

Der Unterschied zwischen der Geschwindigkeit des Wasserfadens, der durch die Mitte der Oeffnung geht, und der mittleren Geschwindigkeit aller Wasserfäden (eigentlich ist diese Verschiedenheit in der Rechnung selbst schon berücksichtigt) erklärt nicht die starke Contraction, denn jene Geschwindigkeit beträgt 5,7409 Meter und diese 5,7424; ihr Einfluss auf die Resultate ist also ganz unbedeutend. Eben so wenig kann die geringe Geschwindigkeit, womit die Wassertheilchen sich der Oeffnung

vermöge der Strömung im Bassin nähern, hier in Betracht kommen; der Einfluss derselben entzieht sich sogar allen Beobachtungen. Es fliesst, soweit die Schärfe der Messungen reicht, gleich viel Wasser aus, wenn das Wasser im Gefässe still steht, oder wenn es sich schon mit sehr wahrnehmbarer Geschwindigkeit bewegt; nur in dem Falle, wenn das Bassin ein förmlicher Canal wird und in demselben schon ein merkliches Gefälle sich bildet, um die Wassermenge der Oeffnung zuzuführen, pflanzt sich die frühere Geschwindigkeit beim Durchströmen durch die Oeffnung fort. Hier ist dieses nicht der Fall und sonach muss der Grund der starken Geschwindigkeit in den erwähnten Profilen in einem anderen Umstande gesucht werden, und dieses ist die eintretende Senkung des Strahles, nachdem er die Oeffnung passirt hat; eben wegen dieser Senkung sind aber die vertical gemessenen Profile noch etwas grösser, als die gegen den Strahl normal gerichteten, und da letztere allein die wirkliche Geschwindigkeit bezeichnen, so ist dieselbe sogar noch grösser, als sie sich schon aus den Messungen herausstellt. Ich habe aus der mittleren Geschwindigkeit des Strahles in der Oeffnung, wie ihn die Rechnung ergiebt, nämlich 5,7424 Meter und unter der Voraussetzung, dass die Richtung derselben horizontal sei, die Senkungen für die Abstände 0,15 — 0,20 — 0,25 — 0,30 und 0,35 also für die Profile *c* bis *g* berechnet und darnach die Zunahme der Geschwindigkeit hergeleitet; ferner habe ich die in der obigen Tabelle angegebenen Flächen der Querprofile reducirt auf den normalen Querschnitt, und gefunden, dass sie nach Entfernung des Einflusses der Senkung des Strahles in folgenden Verhältnissen zur Durchflussöffnung stehen:

Profil	*c*	0,6190
-	*d*	0,6157
-	*e*	0,6213
-	*f*	0,6105
-	*g*	0,6579

Es ergiebt sich hieraus in Bezug auf das Profil *f* eine weit auffallendere Anomalie, als aus der früheren Tabelle; dagegen aber zeigen diese Verhältnisse durchaus nichts, was mit dem Princip der Erhaltung der lebendigen Kräfte im Widerspruche wäre. Der Contractions-Coefficient erreicht vielmehr hiernach

noch nicht die früher angegebene Grösse, und um ihn mit der wirklich erhaltenen Wassermenge in Uebereinstimmung zu bringen, muss man noch einigen Verlust an lebendiger Kraft voraussetzen, der wahrscheinlich durch innere Strömungen veranlasst wird.

Fig. 70 zeigt ferner in derselben Art die Seitenansicht und die Querprofile eines Strahles, der durch dieselbe Oeffnung, jedoch bei einem so niedrigen Wasserstande durchfliesst, dass der obere Rand der Oeffnung nicht benetzt wird. Der untere Rand derselben befindet sich 18,03 Centimeter oder 6,894 Zoll unter dem Spiegel der ungesenkten Wasserfläche. Beim Punkte *A*, in einem Abstande von 30 Centimeter oder 11,47 Zoll beginnt die Senkung, und in der Oeffnung selbst beträgt sie schon 1,59 Centimeter oder 7,3 Linien. Das erste Querprofil *a* ist in der Oeffnung genommen, die folgenden an den Stellen, die in der Seitenansicht mit denselben Buchstaben bezeichnet sind. Diese Profile sind insofern wichtig, als sie zeigen, wie die oberen Wasserschichten des Strahles sich nicht in ihrer Lage erhalten können, sondern sehr bald und namentlich im Profile *d* seitwärts herabfliessen.

Ich habe bisher mich allein auf die Mittheilung der Thatsachen beschränkt, welche beim Ausfliessen des Wassers durch Oeffnungen in der Wand der Behälter beobachtet wurden; es bleibt noch übrig, die Erklärungen zu erwähnen, die man von der Contraction des Strahles gegeben hat. Indem diese Erscheinung sich unter sehr verschiedenen Umständen immer auf beinahe gleiche Art wiederholt und die Wassermenge in einem beinahe constanten Verhältnisse kleiner ausfällt als die, welche man zunächst erwarten sollte, so muss man vermuthen, dass der Grund davon in einer Eigenschaft des Wassers, oder der Flüssigkeit überhaupt, oder vielleicht gar in einem allgemeinen dynamischen Gesetze zu suchen sei.

Newton gab zuerst eine Erklärung der Contraction des Strahles, und zwar in der Art, dass er einen plötzlichen Stoss annahm, den die Wassertheilchen erfahren, indem sie mit geringer Geschwindigkeit vor die Oeffnung treten und hier mit einem Male die volle Geschwindigkeit des Strahles erlangen. Es wird also nach dieser Ansicht in einer unendlich kleinen Zeit eine endliche Geschwindigkeit erzeugt, was den Verlust an lebendiger Kraft zur Folge hat; und unter der Voraussetzung, dass die Oeffnung im

Vergleiche zum Querschnitte des Behälters unendlich klein sei, gelangte Newton zu dem Resultate, dass die Geschwindigkeit des durchfliessenden Wassers sich zu derjenigen, die der Druckhöhe entspricht, verhalten müsse, wie $1 : \sqrt{2}$, oder der Contractions-Coefficient müsste gleich sein 0,7071. *) Die Erfahrung zeigt nun freilich, dass die Contraction im Allgemeinen stärker, oder der Coefficient kleiner ist; nichts desto weniger kommen in den vorstehend mitgetheilten Beobachtungen doch manche Fälle vor, die hiermit übereinstimmen, und diese Ansicht der Sache findet in der Beobachtung gewissermaassen ihre Begründung, indem man in der That bemerken kann, dass die Wassertheilchen sich nicht mit zunehmender Geschwindigkeit nach der Oeffnung hinbewegen, sondern vielmehr treiben bei einer schwachen inneren Bewegung des Wassers noch kleine Körper in sehr geringem Abstande vor der Oeffnung vorbei, und nur die unmittelbar davor befindlichen werden plötzlich von der Strömung erfasst und nehmen, wie es scheint, momentan die volle Geschwindigkeit an. Man hat indessen diese Erklärungsart in neuerer Zeit nicht mehr gelten lassen, weil nach Maassgabe der oben mitgetheilten Erfahrungen keine Verminderung der Geschwindigkeit eintritt, sondern vielmehr eine wirkliche Contraction des Strahles oder eine bestimmte Verkleinerung der Durchflussöffnung statt zu finden scheint. Ausserdem aber können die Beobachtungen nicht den Beweis liefern, dass die volle Geschwindigkeit wirklich in einer unendlich kleinen Zeit erzeugt wird.

In den meisten Lehrbüchern der Hydraulik findet man die Contraction dadurch erklärt, dass zu der Oeffnung in der Wand oder im Boden des Behälters die Wasserfäden von allen Seiten sich hinziehen, und indem sie ihre Richtung nach der Mitte der Oeffnung beibehalten, nachdem sie schon die Oeffnung passirt sind, so convergiren sie noch ferner und bilden dadurch den zusammengezogenen Strahl. Man findet diese Vorstellungsart auch gewöhnlich durch Linien versinnlicht, welche die Richtung der

*) Die Herleitung dieses Gesetzes nach den neueren Methoden der Mechanik findet man in Navier's *Résumé des Leçons Tome II. p.* 36. Ebendaselbst hat Navier auch seine Ansicht entwickelt, von der im Folgenden die Rede ist.

Wasserfäden darstellen sollen; da jedoch solche Fäden nicht bald entfernter und bald näher aneinander liegen können, wie dieses mit den Linien der Fall ist, so ist dadurch schon die gleichmässige Dicke des Strahles zur Bedingung gemacht und die Contraction ausgeschlossen, die eben erklärt werden sollte. Nur durch die Annahme einer verschiedenen Geschwindigkeit der Fäden in den auf einander folgenden Querschnitten des Strahles lässt sich die Verschiedenheit des Durchmessers desselben erklären. Bevor ich indessen hierauf näher eingehe, muss ich noch kurz der Art erwähnen, wie Navier aus der Hypothese der von allen Seiten die Oeffnung treffenden Strahlen den Contractions-Coefficienten ziemlich übereinstimmend mit der Erfahrung darstellt. Navier nimmt nämlich an, dass alle Wasserfäden, welche die Oeffnung passiren und die in sehr verschiedenen Richtungen ihr zufliessen, in der Ebene der Oeffnung selbst ihre Richtung und sonach auch ihre Geschwindigkeit plötzlich verändern und nur den Theil der letzteren behalten, der parallel mit der Axe der Oeffnung ist. Ferner macht Navier die sehr willkührliche Voraussetzung, dass die ursprünglichen Richtungen der Wasserfäden auf die ganze Anzahl der letzteren gleichmässig vertheilt sind. Ist die Oeffnung kreisförmig und befindet sie sich in einer ebenen Wand, so können die Richtungen derselben gegen die Axe der Oeffnung die Winkel von $\varphi = 0$ bis $\varphi = 90°$ machen, und da jeder dieser Fäden eine Geschwindigkeit hat, oder eine Wassermenge liefert, die durch $\mathit{Cos}\ \varphi$ ausgedrückt wird, so wird bei der angenommenen gleichmässigen Vertheilung der Wasserfäden ihre mittlere Geschwindigkeit auch dem mittleren Werthe von $\mathit{Cos}\ \varphi$ entsprechen. Ist v die ursprüngliche, allen Fäden gemeinsame Geschwindigkeit, so wird, nach erfolgter Veränderung der Richtung, die der Axe parallele mittlere Geschwindigkeit gleich sein

$$c = \frac{v \int \mathit{Cos}\ \varphi \, . \, d\varphi}{\int d\varphi}$$

und nimmt man dieses Integral innerhalb der angegebenen Grenzen, so findet man

$$c = \frac{2}{\pi} . v$$

$$= 0{,}6366 . v$$

Der gefundene Coefficient stellt allerdings die Beobachtungen ziemlich genau dar, die eingeführten Hypothesen sind aber sehr

zweifelhaft, und besonders ist es unerklärlich, wie die Wasserfäden mit einer grösseren Geschwindigkeit in die Oeffnung treten, als sie sich daraus entfernen, was nothwendig ein starkes Anschwellen des Strahls dicht hinter der Oeffnung zur Folge haben müsste, wovon sich gerade das Gegentheil zeigt.

Ich versuche es, eine andere Erklärung der Contraction zu geben, die bereits von Dubuat*) angedeutet ist; sie beruht auf Annahmen, die auch durch andere Erscheinungen sehr wahrscheinlich gemacht werden und welche den allgemeinen Gesetzen der Mechanik nicht widersprechen; ausserdem erlaubt sie es aber den Contractions-Coefficienten, sehr übereinstimmend mit den Erfahrungen, unmittelbar aus dem Grundsatze der Erhaltung der lebendigen Kraft abzuleiten.

Das durch die Oeffnung stürzende Wasser bewegt sich nicht in allen Theilen der Oeffnung mit gleicher Geschwindigkeit. Vielfache Erfahrungen, wovon später die Rede sein wird, zeigen, wie das bewegte Wasser die ruhenden Wassertheilchen, die es berührt, mit sich reisst; und ebenso werden auch die bewegten Theilchen durch die ruhenden zurückgehalten, und so bildet sich eine allmälige Zunahme der Geschwindigkeit von dem Rande der Oeffnung bis zur Mitte derselben. Ist die Oeffnung nicht kreisförmig, so werden die gegen die Ecken der Oeffnung getriebenen Wassertheilchen von den ruhenden stärker afficirt werden als die, welche in der Mitte der Seiten durchfliessen; jene behalten sonach eine geringere Geschwindigkeit als diese, und wenn daher die verschiedenen Geschwindigkeiten im Strahle in einer geringen Entfernung von der Oeffnung sich wieder aus demselben Grunde ausgleichen, so fehlt es in den Kanten des Strahles an Wassertheilchen, und es bilden sich daher hier die tiefen Rinnen, welche Poncelet's Versuche so deutlich zeigen. Nun muss aber bemerkt werden, dass diese Abnahme der Geschwindigkeit des Wassers nach dem Rande hin keineswegs eine Verminderung der lebendigen Kraft bedingt, sowie dieses der Fall wäre, wenn eine wirklich bereits erzeugte Geschwindigkeit durch Reibung zerstört würde. Eben so wenig wie ein Verlust an lebendiger Kraft dadurch entsteht, dass die übrigen Theile der Wand gar kein Durchfliessen

*) *Principes d'Hydraulique. Partie I. §. 5.*

gestatten, oder die Geschwindigkeit daselbst auf Null reduciren, eben so wenig tritt ein solcher hier ein, wo die Nähe der Wand nur die Bildung einer mässigeren Geschwindigkeit erlaubt. Sodann muss wieder daran erinnert werden, dass nicht alle Wassertheilchen parallel mit der Axe des Strahles die Oeffnung treffen, denn wäre dieses der Fall, so könnte kein gleichmässiges Senken der Oberfläche erfolgen und vielmehr müsste ein freier cylindrischer Raum vor der Oeffnung entstehen. Es bewegen sich also die einzelnen Wassertheilchen convergirend gegen den Mittelpunkt der Oeffnung, und indem sie sich hier weder kreuzen noch durchdringen können, so müssen sie parallel zur Axe der Strahlen sich weiter bewegen; aber durch diese Aenderung der Bewegung entsteht ein vermehrter Druck gegen die mittleren Fäden und sonach eine grössere Geschwindigkeit derselben. Auf diese Art kann die Geschwindigkeit des mittleren Fadens grösser werden, als diejenige, welche ihm nach Maassgabe des Wasserstandes über der Oeffnung zukommt. Es schliesst aber durchaus keinen Widerspruch in sich, wenn bei einer Bewegung eines Systems von Körpern einzelne derselben eine grössere Geschwindigkeit annehmen, als die, welche ihrer Fallhöhe entspricht, insofern andere den betreffenden Verlust tragen; es liegt nur darin eine Unmöglichkeit, dass die Summe der lebendigen Kräfte der mit einander verbundenen Körper sich vergrössern sollte. Lässt man z. B. einen Wassertropfen aus der Höhe von 4 Zoll in eine Schale mit Wasser fallen, so spritzen häufig einige sehr viel kleinere Tröpfchen bis 8 Zoll hoch und wohl noch darüber; es ist also in diesem Falle eine Geschwindigkeit erzeugt, die grösser ist, als sie bei der Fallhöhe sein sollte, aber nur ein kleiner Theil der herabgefallenen Masse nimmt diese Geschwindigkeit an.

Die Voraussetzung ist sonach diese, dass das Wasser, wie es sich durch die Oeffnung in der Wand bewegt, verschiedene Geschwindigkeiten nach Maassgabe der Entfernung vom Rande der Oeffnung annimmt; am Rande ist sie gleich Null und sie nimmt gleichmässig nach der Mitte zu, so dass sie daselbst ihr Maximum erreicht und möglicher Weise auch grösser sein kann, als die Geschwindigkeit, die ein einzelner Tropfen beim freien Herabstürzen aus der ganzen Druckhöhe annehmen würde. Die ganze lebendige Kraft dieses Wasserstrahles soll aber gleich sein

derjenigen, die das Wasser im Gefässe durch seine Senkung erzeugt. Es wird sonach in jeder Zeiteinheit nicht ein Wasserprisma, sondern ein Kegel hervortreten, der die Oberfläche der Oeffnung zur Basis hat und dessen Höhe der Geschwindigkeit des mittleren Fadens gleichkommt. Der Einfachheit wegen nehme ich an, dass die Oeffnung kreisförmig ist; die ganze folgende Herleitung würde indessen auch auf jede andere Figur Anwendung finden. Ich setze den Radius der Oeffnung gleich ϱ und die Geschwindigkeit des mittleren Fadens gleich c, dann ist die Geschwindigkeit im Abstande r vom Rande

$$v = \frac{r}{\varrho} c$$

Bezeichnet nun M die Wassermenge, die in der Zeiteinheit austritt, und L die lebendige Kraft derselben, so hat man für den dünnen Ring im Abstande r vom Rande der Oeffnung

$$d\,M = 2\,(\varrho - r)\frac{r}{\varrho}\,d\,r\,.\,c\,\pi$$

$$\text{und } d\,L = 2\,(\varrho - r)\left(\frac{r}{\varrho}\right)^3 d\,r\,.\,c^3\pi$$

Beides integrirt in den Grenzen

$$\text{von } r = o$$

$$\text{bis } r = \varrho$$

$$\text{giebt } M = \frac{1}{3}\,\varrho^2 \pi\, c$$

$$\text{und } L = \frac{1}{10}\,\varrho^2 \pi\, c^3$$

Die verschiedenen Geschwindigkeiten der herausstürzenden Wasserfäden gleichen sich aber bald aus, indem die mittleren von den äusseren zurückgehalten und diese von jenen mit fortgerissen werden. Sobald diese Ausgleichung erfolgt ist, sei die gemeinschaftliche Geschwindigkeit gleich x und der Halbmesser des Wasserstrahles verwandele sich nunmehr in R, so hat man

$$M = R^2 \pi\,.\,x$$

$$L = R^2 \pi\,.\,x^3$$

Setzt man die beiden Ausdrücke für M einander gleich und ebenso die beiden für L, so findet man

$$x = c\,.\sqrt{0{,}3}$$

$$\text{und } R^2 = 0{,}6086\,.\,\varrho^2$$

Der letzte Zahlen-Coefficient bezeichnet das Verhältniss, in welchem der Flächeninhalt der Oeffnung verkleinert werden muss, wenn man mit Berücksichtigung der jedesmaligen Druckhöhe die ausfliessende Wassermenge finden will, und dieses stimmt in der That mit dem beobachteten sehr genau überein. Man überzeugt sich übrigens leicht, dass, wenn kein Verlust an lebendiger Kraft eintritt, $\varkappa$ nichts anderes sein kann, als die der Druckhöhe des Wassers entsprechende Geschwindigkeit, und sonach ist die Geschwindigkeit des mittleren Fadens beim Austritt aus der Oeffnung

$$c = 1{,}8258 \,.\, \varkappa$$

Das heisst, um fünf Sechstheile grösser, als sie beim freien Herabfallen der Wassertheilchen vom Wasserspiegel bis zur Oeffnung sein würde.

Die vorstehende Herleitung bezieht sich nur auf die Erscheinung im Allgemeinen; alle Einzelheiten lässt sie unberührt, die nothwendiger Weise manche Abweichungen veranlassen müssen. Schon die Verschiedenheit des Druckes gegen die höher und tiefer liegenden Theile der Oeffnung ist dabei ganz unbeachtet geblieben, und ebenso auch der Umstand, dass bei den Oeffnungen in einer verticalen Wand, und namentlich wenn sie sich bis über die Oberfläche des Wassers erheben, die oberen Schichten von den darunter befindlichen, auf welchen sie aufliegen, mit fortgerissen werden. Wenn die Geschwindigkeit einer jeden Wasserschicht nur die Folge des daselbst gerade stattfindenden Druckes wäre, so müsste in dem erwähnten Falle die obere Schicht ganz stille stehen; man bemerkt aber wirklich, dass sie sehr stark sich bewegt, und dieses kann nur davon herrühren, dass sie von den darunterbefindlichen mit fortgetragen wird. Man könnte freilich diese Bewegung auch als eine Folge der geneigten Ebene ansehen, welche durch die Senkung des Wasserspiegels an der Oeffnung entsteht, aber diese Senkung kann wieder in dem erwähnten Umstande allein ihre Veranlassung finden.

Ferner ist es sehr wahrscheinlich, dass die Figur der Oeffnung einigen Einfluss auf den Contractions-Coefficienten hat, indem die gegenseitige Einwirkung der äusseren und mittleren Fäden hiervon abhängig sein sollte; die Beobachtungen geben indessen weniger den Einfluss der Figur der Oeffnung, als den ihrer Weite zu erkennen, und sehr auffallend und ganz unerklärlich

ist es, dass enge Oeffnungen ebensowohl bei grösseren, wie bei kleineren Druckhöhen verhältnissmässig eine grössere Wassermenge liefern, als weitere. Vielleicht hängt hiermit die bei Schutzöffnungen in Schleusenthoren bemerkte Erscheinung zusammen, dass nämlich zwei nahe nebeneinander liegende Oeffnungen einen geringeren Effect haben, als man nach den Erfolgen im Einzelnen schliessen sollte.

Endlich kommt hierbei auch noch die Gestalt des Behälters vor der Oeffnung in Betracht; wenn dieselbe von der Art ist, dass das Wasser nicht von allen Seiten frei zufliessen kann, sondern etwa der Boden des Behälters oder eine Wand desselben gerade auf den Rand der Oeffnung trifft, so bemerkt man eine Zunahme der ausfliessenden Wassermenge, und umgekehrt, wenn die Oeffnung nicht in der Wand selbst befindlich ist, sondern vielmehr durch eine conische Röhre in die Mitte der Wassermasse hineingeführt wird, so vermindert sich sehr merklich die Quantität des ausströmenden Wassers. Borda gelang es, auf die letzte Art den Contractions-Coefficienten bis 0,515 zu vermindern. Doch muss hierbei immer die Vorsicht angewandt werden, dass der Strahl ja nicht die Wände der Röhre berührt, weil sonst sogleich der Fall mit den kurzen Ansatzröhren eintritt, wovon zunächst die Rede sein wird, und wobei der Contractions-Coefficient viel grösser, als beim Ausflusse durch Oeffnungen in der dünnen Wand ausfällt.

Einigermaassen lässt sich die erwähnte Verminderung des Coefficienten dadurch erklären, dass das in entgegengesetzter Richtung zuströmende Wasser die Geschwindigkeit des Strahles vermindert, doch darf man sich nicht schmeicheln, nach den bisherigen Beobachtungen und Erfahrungen alle Eigenthümlichkeiten dieser so wichtigen und interessanten Erscheinung schon vollständig beurtheilen zu können.

§. 16.

Ausfluss des Wassers durch Ansatzröhren.

Wenn das Wasser nicht durch Oeffnungen in einer dünnen Wand, sondern durch Röhren ausfliesst, so muss man die beiden Fälle unterscheiden, dass die Röhre entweder eine grössere Länge

hat, oder dass ihre Länge den Durchmesser der Oeffnung nur um ein Weniges übertrifft. Die letzten Röhren pflegt man mit der Benennung Ansatzröhren zu bezeichnen, und ich will mit der Darstellung der hierbei sich zeigenden Erscheinungen den Anfang machen.

In der verticalen und ebenen Wand eines Blechgefässes, das etwa 3 Zoll weit und 9 Zoll hoch war, schnitt ich ohnfern des Bodens eine Oeffnung von 1 Zoll Breite und $\frac{1}{2}$ Zoll Höhe ein und löthete in diese eine genau bearbeitete Messingplatte, worin sich eine Oeffnung mit zugeschärftem Rande und eine Ansatzröhre von $1\frac{1}{2}$ Linien Länge befanden; beide waren mit demselben Bohrer (etwa 1 Linie weit) ausgebohrt und befanden sich in gleicher Höhe und Richtung. Sobald ich das Gefäss mit Wasser füllte, stellten sich beide Strahlen dicht nebeneinander dar und man konnte sie mit einem Blicke vergleichen. Sie unterschieden sich in dreifacher Beziehung von einander:

1) Der Strahl aus der Oeffnung in der Wand war merklich dünner, als der aus der Ansatzröhre.
2) Jener hatte eine grössere Sprungweite, als dieser; die Geschwindigkeit des ganzen Strahles wird also durch die kurze Ansatzröhre vermindert.
3) Das äussere Ansehen beider Strahlen ist sehr auffallend verschieden; der Strahl aus der Oeffnung in der dünnen Wand gleicht einem geschliffenen Glasstabe; alle Gegenstände spiegeln sich darin und er behält so dauernd seine Form, dass er ein fester Körper zu sein scheint. Der Strahl aus der Ansatzröhre hat dagegen ein mattes Ansehen und eine weisse Farbe; seine Oberfläche ist sehr fein gefurcht, und indem die Furchen wie kleine Wellen ihre Stellung fortwährend verändern, so entsteht ein flimmernder Glanz auf demselben. Doch nicht allein solche feine Bewegungen unterscheiden ihn von dem ersteren, sondern ausserdem ist er noch einem starken Schwanken ausgesetzt, welches in sehr kurzen Perioden sich immer wiederholt. Sobald aber der Wasserstand im Gefässe sich bis auf einige Linien über den Oeffnungen vermindert hat, verschwinden die Eigenthümlichkeiten des zweiten Strahles und er gewinnt das Ansehen des ersteren.

Auf die beiden ersten Punkte ist man schon lange aufmerksam gewesen, und man hat auch die Wassermengen, welche durch cylindrische Ansatzröhren abgeführt werden, durch vielfache Beobachtungen zu ermitteln gesucht. Wählt man hier zum Vergleiche wieder diejenige Wassermenge, welche abfliessen würde, wenn keine Contraction des Strahles einträte und wenn alle Wasserfäden die Oeffnung mit der Geschwindigkeit passirten, welche der Druckhöhe entspricht, so verhält sich diese zu der in Rede stehenden, wie 1 zu 0,82. Es wird also auch hier ein Coefficient, ähnlich dem obigen Contractions-Coefficienten, eingeführt, und der Werth desselben ist im Mittel etwa 0,82; er schwankt aber nach den verschiedenen Versuchen zwischen 0,80 und 0,83. Wenn aber hierin eine grössere Uebereinstimmung, als in den Beobachtungen über den Ausfluss durch Oeffnungen in einer dünnen Wand zu liegen scheint, so rührt dieses wohl nur davon her, dass diese Beobachtungen viel minder zahlreich und weit weniger in grösserem Maassstabe ausgeführt sind, als jene. In neuerer Zeit hat sich besonders Castel, Ingénieur der Wasserwerke zu Toulouse, mit Beobachtungen über den Effect der Ansatzröhren beschäftigt, und zwar nicht nur in Betreff der gelieferten Wassermenge, sondern auch der Geschwindigkeit, womit der Strahl ausfliesst. Nach seinen neuesten im Jahre 1837 zu Toulouse angestellten Beobachtungen *) gab eine cylindrische Ansatzröhre von 7,1 Linie Weite und 18,4 Linien Länge unter Druckhöhen, die von 8 Zoll bis 10 Fuss abwechselten, nach sechs verschiedenen Beobachtungen das Verhältniss der Wassermengen sehr übereinstimmend 0,829 und die Form des Bogens, welche der Strahl beschrieb, zeigte, dass die Geschwindigkeit, womit das Wasser hervorsprang, sich zu derjenigen verhielt, die der Druckhöhe entsprach, wie 0,826 bis 0,833 oder im Mittel wieder wie 0,829 : 1. Es ergiebt sich also hieraus, dass in diesem Falle keine Contraction stattfindet und der Unterschied gegen die angenommene Wassermenge allein von der Verminderung der Geschwindigkeit herrührt. Aus diesem Grunde ist der Strahl auch stärker und er spritzt minder weit, als der, welcher aus der Oeffnung in der dünnen Wand hervortritt, wie dieses der zuerst erwähnte Versuch schon zeigte.

*) Mitgeth. in den *Annales des Mines. Tome XIV.* Sept. u. Oct. 1838.

Fragt man nun, woher durch die Ansatzröhre die ausfliessende Wassermenge vermehrt und deren Geschwindigkeit vermindert wird, so lässt sich nach den angestellten Beobachtungen wohl eine Erklärung geben, doch ist es bis jetzt nicht gelungen, dieselbe mit dem Calcül so weit zu verfolgen, um etwa den beobachteten Coefficienten darzustellen. Das Wasser haftet bekanntlich an den meisten Körpern und namentlich auch an denjenigen Materialien, aus welchen man die Röhren darstellt; es haftet aber auch an der umgebenden Luft, und der Wasserstrahl reisst letztere mit Heftigkeit mit sich, wie man dieses bei Wasserfällen und starken springenden Strahlen sehr deutlich wahrnehmen kann. Wird nun die Oeffnung in der dünnen Wand mit einer Ansatzröhre versehen, die sehr kurz ist und die etwa noch nicht ihren innern Durchmesser zur Länge hat, so erlaubt die eintretende Contraction des Strahles es nicht, dass derselbe die Röhre irgendwo berührt, und er spritzt also ganz unabhängig von der letzteren in derselben Art heraus, als ob sie gar nicht vorhanden wäre. Sobald aber die Röhre noch etwas an Länge zunimmt, oder auch sobald die Geschwindigkeit sehr geringe wird, so geschieht es, dass der Strahl an einer Stelle die Röhre berührt, und sogleich haftet er daran, und die Berührung dehnt sich augenblicklich möglichst weit aus, während die Luft, die früher zwischen dem Strahle und der Röhrenwand befindlich war, von ersterem herausgeführt wird und sich nicht mehr ersetzen kann, indem alle Zugänge gesperrt sind. Auf solche Art ist der Druck der Luft eine zweite Veranlassung, um die Ansatzröhre vollständig mit Wasser zu füllen. Die Wassertheilchen, welche nunmehr in die Oeffnung treten, können sich nicht mehr in gleicher Art wie früher so überwiegend in der Mitte anhäufen und hier die grosse Zunahme der Geschwindigkeit erzeugen, weil sonst die Röhre am Rande leer bleiben würde; es erfolgt also eine gleichmässigere Vertheilung der Wassermasse über die ganze Fläche der Oeffnung, als früher, und die lebendige Kraft, welche die zutretenden Wassertheilchen haben, wird weniger auf die Bildung der starken Geschwindigkeit des mittleren Fadens verwandt und dagegen mehr auf die Vergrösserung der bewegten Masse. Es ist auffallend, dass die lebendige Kraft des aus der Oeffnung in der dünnen Wand tretenden Strahles ziemlich nahe gleich ist der lebendigen

Kraft des, durch die gleich weite Ansatzröhre fliessenden Strahles, während die Wassermengen sich nahe wie 3 zu 4 zu einander verhalten.

Eine wesentliche Aenderung, welche durch die Ansatzröhre noch herbeigeführt wird, beruht endlich darin, dass die Wassermenge, indem sie in die Röhre tritt, schon dieselbe mittlere Geschwindigkeit haben muss, die sie weiterhin behält; denn eine Aenderung dieser Geschwindigkeit würde unfehlbar die Folge haben, dass entweder das Wasser comprimirt oder ausgedehnt werden müsste, indem die Röhre an allen Stellen gefüllt bleiben muss. Der aus der dünnen Wand hervorspritzende Strahl ändert augenscheinlich seine mittlere Geschwindigkeit in den nächsten Querschnitten, weil diese einen geringeren Flächeninhalt zeigen; aber eben deshalb folgen alle Theilchen so zwanglos dem erhaltenen Impulse und der Strahl erscheint daher so frei von jeder innern Bewegung. Ganz anders verhält es sich mit dem Ausflusse durch die Ansatzröhre, wo die partiellen und allgemeinen Schwankungen deutlich zeigen, wie nur durch Einführung vielfacher innerer Bewegungen ein Durchfliessen unter den gestellten Bedingungen möglich war.

Interessant sind noch manche Beobachtungen, die man bei den Ansatzröhren gemacht hat, die aber immer nicht hinreichen, um die ganze Erscheinung deutlich zu übersehen. So versah Venturi die Ansatzröhre mit feinen Seitenöffnungen; es floss durch dieselben nicht nur kein Wasser ab, sondern sie waren auch Veranlassung, dass der Strahl sich von der Röhrenwand löste und wie aus der Oeffnung in der dünnen Wand hervorbrach. Dasselbe geschah auch noch, wenn einige Oeffnungen verstopft wurden, sobald aber die letzte geschlossen war, nahm der Strahl wieder den vollen Querschnitt ein. Ferner hat man die Erscheinung unter dem Recipienten der Luftpumpe beobachtet, dabei jedoch im Allgemeinen keine Aenderung wahrgenommen, und nur in einzelnen Fällen, wo die Ansatzröhre besonders kurz war, schien der Strahl zur Füllung der ganzen Röhre weniger geneigt zu sein, als unter dem gewöhnlichen Luftdrucke. Ueberraschend ist sodann auch die Erscheinung, die schon Daniel Bernouilli bemerkte, dass nämlich in einer Seitenröhre, welche die Ansatzröhre da trifft, wo der freie Strahl ungefähr die stärkste Contraction zeigen

würde, sich nicht ein Druck, sondern vielmehr ein nach dem Strahle gerichteter Zug zu erkennen giebt, wodurch man Wasser, in welches die Seitenröhre eintaucht, zum Steigen bringen kann. Wenn alle diese Erfahrungen es vermuthen lassen, dass das Eigenthümliche der Ansatzröhren darin besteht, dass die Attraction der Seitenwände die Bildung der Contraction gewaltsam verhindert, so scheint damit wieder ein anderer Versuch von Venturi im Widerspruche zu stehen, welcher zeigte, dass die Ansatzröhre genau dieselbe Wassermenge lieferte in dem Falle, wenn sie ganz cylindrisch war, oder wenn sie zunächst nach der Form des contrahirten Strahles verengt, dann auf die Grösse der Oeffnung allmälig erweitert und am Schlusse wieder cylindrisch war.

Die Ansatzröhren können aber auch eine andere Form, als die cylindrische haben, und namentlich giebt man ihnen gewöhnlich die Gestalt eines abgekürzten Kegels oder einer Pyramide; und zwar können die gegenüberstehenden Seiten in der Richtung der Bewegung des Strahles entweder convergiren, oder divergiren. Den ersten Fall hat besonders Castel sehr ausführlich untersucht, und lässt man den Winkel der Convergenz der gegenüberstehenden Seiten sich von 0 Grad bis 180 Grad verändern, so kann man den Fall der Oeffnung in der dünnen Wand und ebenso den der cylindrischen Ansatzröhren als die äussersten Grenzen der conischen Ansatzröhren betrachten.

Castel benutzte in der That eine ganze Reihe von conischen Ansatzröhren, die verschieden convergirend waren, und er bestimmte für sie die ausfliessende Wassermenge und nach der Form des Strahles auch die Geschwindigkeit; beide verglich er mit denen, welche man nach dem Querschnitte der Ansatzröhre (und zwar am äusseren Rande, wo sie am engsten war) und nach der Druckhöhe erwarten müsste, wenn keine Contraction noch sonstige Hindernisse vorhanden wären; auf diese Art stellte er zwei Coefficienten, einen für die Wassermenge und einen für die Geschwindigkeit dar; und durch Division des ersten durch den zweiten ergab sich noch ein dritter Coefficient, nämlich der der Contraction.*) Bei Röhren, deren geringster Durch-

*) Diese Beobachtungen sind in den *Annales des Mines* mitgetheilt, im Jahrgange 1833, die neueren, wie bereits erwähnt, im Jahrgange 1838.

messer 7,1 Linien und deren Länge 18,4 Linien betrug, wurden als Mittelzahlen von 5 und 6 Beobachtungen, die bei abwechselndem Drucke von 8 Zoll bis 10 Fuss angestellt waren, für die verschiedenen Convergenzwinkel die folgenden Coefficienten ermittelt:

Convergenzwinkel	Coefficient der		
	Wassermenge	Geschwindigkeit	Contraction.
0° 0′	0,829	0,829	1,00
1° 36′	0,866	0,867	1,00
3° 10′	0,895	0,894	1,00
4° 10′	0,912	0,910	1,00
5° 26′	0,924	0,919	1,00
7° 52′	0,930	0,932	1,00
8° 58′	0,934	0,942	0,99
10° 20′	0,938	0,951	0,99
12° 4′	0,942	0,955	0,99
13° 24′	0,946	0,963	0,98
14° 28′	0,941	0,966	0,97
16° 36′	0,938	0,971	0,97
19° 28′	0,924	0,970	0,96
21° 0′	0,919	0,972	0,95
23° 0′	0,914	0,974	0,94
29° 58′	0,895	0,975	0,92
40° 20′	0,870	0,980	0,89
48° 50′	0,847	0,984	0,86

Castel theilt noch einige andere Reihen von Beobachtungen mit, die sich auf Ansatzröhren von verschiedener Weite und verschiedener Länge beziehen; ich übergehe dieselben, da die vorkommenden kleineren Differenzen doch wohl nicht dazu dienen könnten, um das Gesetz genauer zu verfolgen, welches sich hiernach schon im Allgemeinen herausstellt. Man bemerkt sehr deutlich, wie der Coefficient der Geschwindigkeit bei der zunehmenden Convergenz wächst und der der Contraction abnimmt; beide zusammen stellen den Coefficienten der Wassermenge dar, der, soweit sich dieses aus der Tabelle beurtheilen lässt, etwa bei 13 Graden sein Maximum erreicht.

Es giebt noch einige Beobachtungen, die über die conischen oder vielmehr pyramidalen Ansatzröhren im Grossen angestellt

sind. Bei den im südlichen Frankreich seit langer Zeit üblichen horizontalen Mühlenrädern wird nämlich der Wasserstrahl durch eine pyramidale Zuleitungsröhre auf die Schaufeln des Rades geführt, und der Zweck dieser Anordnung ist offenbar der, durch den kleinsten Querschnitt die grösste Wassermenge zuzuführen. Der Ingénieur Lespinasse untersuchte eine solche Röhre, sie war 9 Fuss 4 Zoll lang und ihr oblonger Querschnitt maass an der Einflussmündung in den Seiten 27,9 und 37,3 Zoll, dagegen in der Ausflussmündung 5,2 und 7,2 Zoll. Die Seiten convergirten also in den Winkeln von $11\frac{1}{2}$ und $15\frac{1}{2}$ Graden. Die Druckhöhe betrug 9 Fuss 4 Zoll. Es ergaben sich aus drei Beobachtungen die Coefficienten der Wassermenge

0,987 0,976 und 0,979

Es war also der Erfolg noch günstiger, als man nach den Castelschen Beobachtungen erwarten sollte, und es ist auffallend, wie man durch die gewiss ziemlich rohe Praxis beim Mühlenbau auch auf den vortheilhaftesten Convergenzwinkel schon frühe geführt war.

Endlich können die Ansatzröhren auch divergirend sein, d. h. sie können abgekürzte Kegel bilden, deren engere Oeffnung die Einflussmündung und deren weitere Oeffnung die Ausflussmündung ist. Diese sind es nun, welche den grössten Coefficienten der Wassermenge darstellen, wenn man wieder das engste Profil, also hier die Einflussmündung als Basis des in Vergleich gestellten Cylinders betrachtet. Für die einfache Oeffnung in der dünnen Wand war der Coefficient gleich 0,61; für die cylindrische Ansatzröhre 0,82; für die divergirende conische Ansatzröhre wird er grösser als Eins und nach den Beobachtungen von Venturi und Eytelwein wächst er bis $1\frac{1}{3}$ und sogar bis $1\frac{1}{2}$, wenn man eine convergirende conische Ansatzröhre von der Form des contrahirten Strahles unmittelbar davor anbringt und der divergirenden Ansatzröhre den neunfachen Durchmesser der kleinsten Basis von jener zur Länge giebt und dabei ihre Seiten unter einem Winkel von 5° 6′ gegen einander neigt. In die näheren Details dieser Beobachtungen einzugehen scheint überflüssig, da eine Anwendung derselben kaum denkbar ist, und wenn man eine solche in der Form der Brückenpfeiler oder wohl gar in der Richtung der Ufereinfassungen bei Strommündungen versucht hat, so lässt sich

kein Zusammenhang dafür nachweisen, da keine Erfahrung dafür spricht, dass unter den ganz veränderten Umständen und bei den sehr viel grösseren Dimensionen diese Form wirklich noch einen leichteren Abfluss des Wassers bedingt.

Es muss indessen hierbei noch bemerkt werden, dass die in dem engsten Profile der zuletzt erwähnten Ansatzröhre erzeugte sehr grosse Geschwindigkeit keineswegs mit den allgemeinen dynamischen Gesetzen in Widerspruch steht; dieses würde der Fall sein, wenn das Wasser mit jener Geschwindigkeit, die grösser ist als die der Druckhöhe entsprechende, frei ausströmte, was jedoch keineswegs geschieht. Die ganze Wassermenge, die sich auf einmal in der Röhre befindet, ist als ein zusammenhängendes System von Körpern zu betrachten, welches gegenseitig seine Geschwindigkeit bedingt. Ist die mittlere Geschwindigkeit im engsten Profile gleich 1, so beträgt sie bei der angegebenen Gestalt der divergirenden Röhre in der Ausflussmündung noch nicht $\frac{1}{4}$, oder die Geschwindigkeit, womit das Wasser ausspritzt, ist nur etwa die Hälfte von der, die es beim freien Herabfallen von der Druckhöhe erlangen würde. Es erfolgt sonach keine Vermehrung, sondern im Gegentheile ein sehr bedeutender Verlust an lebendiger Kraft, und es stellt sich nur in der jedesmaligen Verbindung der Wassertheilchen die Erscheinung dar, dass einzelne davon sich viel schneller, die Mehrzahl aber viel langsamer bewegen, als man nach der Druckhöhe erwarten sollte.

§. 17.

Bewegung des Wassers in Röhrenleitungen.

Die Bewegung des Wassers in längeren Röhrenleitungen, deren Untersuchung für die Praxis besonders von Wichtigkeit ist, wird zum Theil durch den Einfluss der Ansatzröhren bedingt, wovon eben die Rede war, und dieses insofern, als ein Theil der Druckhöhe oder des ganzen Wasserdruckes verwendet wird, um das Wasser in die längere Röhrenleitung mit der jedesmaligen Geschwindigkeit wie in eine Ansatzröhre hinein oder vielleicht auch aus derselben herauszutreiben. Der andere und gemeinhin der grössere Theil der Druckhöhe wirkt dagegen nicht weiter auf die Erzeugung der Geschwindigkeit, sondern er überwindet nur

die Widerstände, welche die Röhre der Bewegung des Wassers entgegensetzt. Eine Vergleichung der Beobachtungen bei gleich weiten Röhren, die aber verschiedene Längen haben, zeigt deutlich, dass man eine solche Zerlegung machen muss, wenn man die Resultate unter sich in Uebereinstimmung bringen will; es wird sich aber aus dem Folgenden sogar ergeben, dass die mit längeren Röhren angestellten Beobachtungen wieder sehr genau den für cylindrische Ansatzröhren entwickelten Coefficienten der Wassermenge darstellen. Hiernach rechtfertigt es sich, dass die ganze Druckhöhe, oder die Niveau-Differenz zwischen dem Wasserspiegel und der Ausflussmündung der Röhrenleitung (oder wenn letztere nicht in der Luft, sondern unter Wasser ausmündet, die Differenz zwischen dem Ober- und Unterwasserspiegel) zerlegt wird in zwei Theile: nämlich die Geschwindigkeitshöhe, welche die Geschwindigkeit erzeugt, womit das Wasser ausströmt, und die Widerstandshöhe, welche die Widerstände überwindet, die in der Röhre der Bewegung des Wassers entgegentreten.

Bei der Wichtigkeit dieses Gegenstandes, über welchen wesentlich verschiedene Ansichten aufgestellt sind und auch noch vorkommen, scheint es nothwendig, das Historische kurz voranzuschicken.

Zunächst erwähne ich die Arbeiten von Bossut *), der selbst zwei schätzbare Reihen von Beobachtungen anstellte, die später näher bezeichnet werden sollen, und der auch die von Couplet schon früher gemachten Beobachtungen berechnete, um dadurch dem Praktiker einen Anhalt zu geben, wonach die Dimensionen neu anzulegender Wasserleitungen näherungsweise bestimmt werden könnten. Bossut zieht aus seinen eigenen Beobachtungen nur den Schluss, dass bei gleich weiten Röhren und bei gleicher Druckhöhe die Wassermengen umgekehrt den Quadratwurzeln aus den Längen proportional sind; im Uebrigen empfiehlt er durch Interpolation oder mittelst einer graphischen Darstellung der Resultate der Beobachtungen die gesuchten Grössen näherungsweise zu entnehmen, indem er es nicht wagt, ein einfaches und gehörig sicheres Gesetz daraus abzuleiten. Er macht

*) *Traité théorique et expérimental d'hydrodynamique par Bossut.* Paris 1787 im zweiten Bande.

übrigens darauf aufmerksam, dass derjenige Theil der Druckhöhe, der hier die Widerstandshöhe benannt ist, besonders in Betracht gezogen werden muss.

Dubuat *) war der Erste, der eine allgemeine Regel zur Berechnung der mittleren Geschwindigkeit des Wassers in Röhrenleitungen aufzustellen versuchte. Er ging von dem Grundsatze aus, dass das Wasser bei seiner Bewegung in Röhrenleitungen ebenso wie in offenen Gerinnen und in natürlichen Flussbetten nur in dem Falle seine Geschwindigkeit unverändert beibehalten kann, wenn es einem Widerstande ausgesetzt ist, welcher genau die Beschleunigung aufhebt, die es nach dem jedesmaligen Gefälle annehmen sollte. Nennt man daher das relative Gefälle $\frac{1}{b}$, so ist bei unveränderter Geschwindigkeit der Widerstand, oder

$$W = \frac{2g}{b}$$

Dubuat sagt ferner, ohne die Gründe dafür näher anzugeben, dass er zunächst hätte die Voraussetzung machen müssen, dass der Widerstand dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional wäre, und ebenso nimmt er an, dass der Widerstand auch proportional sei dem benetzten Umfange p des Profiles und umgekehrt dem Flächeninhalte q desselben, woraus sich endlich mit Einführung einer Constante die Geschwindigkeit ergiebt, oder

$$c = m\sqrt{\frac{q}{bp}}$$

Diese ganze Herleitung bezog sich zunächst auf den Fall, dass wirklich eine ganz gleichmässige Vertheilung des Gefälles stattfindet, oder dass die Röhrenleitungen so geneigt sind, dass sie die Hypothenuse eines rechtwinkeligen Dreieckes bilden, dessen eine Seite der Widerstandshöhe gleichkommt. Ich muss aber bemerken, dass diese Darstellungsart wohl nicht richtig ist, denn in einer Röhre muss das Wasser theils wegen der Abwesenheit einer merklichen Elasticität und theils wegen des Luftdruckes immer den Querschnitt der Röhre genau füllen, und seine Geschwindigkeit an den verschiedenen Stellen der Röhre wird daher dem Querschnitte umgekehrt proportional sein. Wenn sich also das Wasser in einer Röhrenleitung gleichförmig bewegt, so

*) *Principes d'hydraulique par Dubuat.* Paris 1786.

rührt dieses nicht davon her, dass wirklich Beschleunigung und Widerstand an jedem Punkte einander gleich sind, sondern vielmehr ist dieses schon eine nothwendige Folge von der cylindrischen Form der Röhre. Hiernach scheint es nicht angemessen, dass man die Bewegung des Wassers in Röhren und die in offenen Gerinnen zusammen behandelt.

Eine Vergleichung dieses Ausdrucks mit denjenigen Beobachtungen, die theils Dubuat selbst angestellt hatte und die er theils aus Bossut und Couplet entnahm, zeigte indessen nicht die gewünschte Uebereinstimmung; er versuchte daher die Formel verschiedenartig zu modificiren, bis sie endlich in der Gestalt

$$c = \frac{297 . (\sqrt{\frac{q}{p}} - 0,1)}{\sqrt{b - log. nat. \sqrt{b + 1,6}}} - 0,3 (\sqrt{\frac{q}{p}} - 0,1)$$

einer gewissen Anzahl von Beobachtungen genugsam entsprach, wobei alle Grössen in Pariser Zollen ausgedrückt sind. Bei Bestimmung der Grösse *b* ist nicht die Widerstandshöhe, sondern vielmehr die ganze Druckhöhe berücksichtigt, wiewohl Dubuat in dem Vorgehenden auf den Unterschied zwischen beiden Grössen aufmerksam gemacht hatte. Diese Formel vergleicht nun Dubuat mit 125 einzelnen Beobachtungen, die sich theils, wie schon erwähnt, auf Röhrenleitungen beziehen, theils aber auch auf offene Gerinne und sogar auf grössere Canäle und Flüsse; sie stellt im Allgemeinen die beobachteten Geschwindigkeiten genau genug dar; gemeinhin betrugen die Abweichungen nur 1 bis 2 Procent, und nur ein Paar Male zeigen sich Differenzen, die bis 10 Procente des Werthes steigen. Ein sehr grosser Uebelstand ist aber der, dass von den Coupletschen Beobachtungen, die den in der Praxis vorkommenden Fällen am nächsten liegen, nur einige in Vergleich gezogen und die meisten derselben ganz mit Stillschweigen übergangen sind. Versucht man es aber, diese auch nach der gegebenen Formel zu berechnen, so zeigen sich viel grössere Differenzen.

Woltman, der zuerst die deutschen Hydrotekten mit Dubuat's Arbeiten bekannt machte *), versuchte es, die erwähnte sehr complicirte Formel zu vereinfachen, und da es gewissermaassen schon feststand, dass der Widerstand nicht dem Quadrate der

*) Beiträge zur hydraulischen Architektur, Band I. Göttingen 1791.

Geschwindigkeit proportional sei, so verglich er die von Dubuat benutzten Beobachtungen, um einen anderen Exponenten für die Geschwindigkeiten zu ermitteln. Er gelangte auf solche Art zu dem Resultate, dass der Widerstand proportional wäre der $\frac{7}{4}$ten Potenz der Geschwindigkeit. Unter dieser Annahme und vergleichungsweise auch unter der Voraussetzung des Quadrats der Geschwindigkeit bestimmte Woltman die constanten Coefficienten und berechnete hiernach die Geschwindigkeiten für diejenigen Beobachtungen, die Dubuat zusammengestellt hatte; jedoch entfernte Woltman diejenigen darunter, die sich auf sehr kurze und enge Röhren bezogen. Das Resultat der Vergleichung war dieses, dass man bei Röhrenleitungen die $\frac{7}{4}$te und bei offenen Leitungen die 2te Potenz der Geschwindigkeit dem Widerstande proportional setzen müsse.

Wenige Jahre später erschien eine deutsche Uebersetzung vom ersten Bande des Dubuatschen Werkes *), worin eine etwas andere Umformung des Ausdruckes für die Geschwindigkeit des Wassers in Röhrenleitungen durch Eytelwein mitgetheilt wurde. Nämlich statt der $\frac{7}{4}$ten Potenz wird die $\frac{35}{18}$te eingeführt, und diese mit denselben Beobachtungen verglichen, die schon Woltman zum Vergleiche ausgewählt hatte.

In Eytelwein's Hydraulik **) wird für genauere Rechnungen die letzterwähnte Formel wieder empfohlen, dagegen für die Fälle, wobei es weniger auf grosse Schärfe ankommt, der Ausdruck unter der Voraussetzung entwickelt, dass der Widerstand dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional sei; und diese Annahme wird dadurch motivirt, dass bei einer doppelt so grossen Geschwindigkeit noch einmal so viele Wassertheilchen in halb so viel Zeit, als bei der einfachen Geschwindigkeit, losgerissen werden müssen, woher denn unter übrigens gleichen Umständen die Widerstandshöhen sich wie die Quadrate der Geschwindigkeit verhalten sollen. Ferner werden, wie dieses auch schon sonst

*) Grundlehren der Hydraulik des Herrn Dubuat, übersetzt von Kosmann, mit Anmerkungen, Zusätzen und einer Vorrede von Eytelwein. Berlin 1796.

**) Handbuch der Mechanik fester Körper und der Hydraulik von J. A. Eytelwein. Berlin 1801.

immer geschehen war, die Widerstände proportional gesetzt der Ausdehnung der innern Wandfläche der Röhre, also proportional der Länge der Röhre und dem Durchmesser derselben; da jedoch bei weiteren Röhren sich der Widerstand auf eine Anzahl Wasserfäden vertheilt, die dem Quadrate der Durchmesser proportional ist, so trifft jeden einzelnen derselben ein um so viel kleinerer Theil und man findet den Widerstand oder die Widerstandshöhe

$$h' = \frac{l \cdot c^2}{d} \varkappa$$

wo $\varkappa$ einen constanten Factor, l die Länge der Röhre, d den Durchmesser derselben und c die mittlere Geschwindigkeit bedeutet. Ich werde später auf dieses ganze Räsonnement zurückkommen und bemerke hier nur, dass Eytelwein hier die Widerstandshöhe h' von der ganzen Druckhöhe h sorgfältig unterschieden hat und er sonach die Geschwindigkeitshöhe h'' noch besonders mit Benutzung des Coefficienten der Wassermenge für cylindrische Ansatzröhren berechnet. Da beide Ausdrücke c^2 enthalten, so verbinden sie sich sehr bequem mit einander und das Resultat stellt sich für preussisches Fussmaass in der einfachen Formel dar

$$c = 6{,}42 \sqrt{\frac{50 \cdot h \cdot d}{l + 50 \cdot d}}$$

Während man nun in Deutschland bemüht war, durch Modification des Exponenten von c eine grössere Genauigkeit dem einfachsten Ausdrucke zu geben, so verfolgte man in Frankreich zu diesem Zwecke einen anderen, ebenso naheliegenden Weg. Statt nämlich den Widerstand durch ein einziges Glied auszudrücken, welches eine gewisse Potenz von c enthielt, setzte man ihn der Summe zweier Glieder gleich, in denen die erste und zweite Potenz getrennt vorkamen. Man hatte dabei augenscheinlich den Vortheil, dass man durch die Annahme von zwei constanten Factoren im Allgemeinen eine grössere Uebereinstimmung erreichen konnte, als wenn man nur eine Constante einführte. Coulomb hatte schon im Jahre 1800 diesen Weg angedeutet und ihn auch zu rechtfertigen versucht, indem er den Widerstand der Reibung von dem der Klebrigkeit unterschied, und annahm, dass der erste der zweiten Potenz der Geschwindigkeit und der zweite ihrer ersten Potenz proportional sei.

In dieser Art untersuchte Prony *) wieder dieselben 51 Beobachtungen über die Bewegung des Wassers in Röhrenleitungen, die schon Woltman unter der von Dubuat zusammengestellten Reihe ausgelesen hatte, und er entwickelte diejenigen Formeln, die man auch heutiges Tags in Frankreich anwendet. Die Methode, die er zur Bestimmung der beiden Constanten benutzte, war nicht ganz richtig, jedoch war die Methode der kleinsten Quadrate, die hier ihre Anwendung hätte finden müssen, damals noch nicht bekannt geworden. Im Uebrigen verdient auch noch bemerkt zu werden, dass bei dieser Herleitung die ganze Druckhöhe für die Widerstandshöhe eingeführt wurde.

Girard hatte gleichzeitig eine ähnliche Arbeit unternommen, jedoch mit der Beschränkung, dass er voraussetzte, die Zahlen-Coefficienten der ersten und zweiten Potenz der Geschwindigkeiten müssten einander gleich sein. **) Prony hat mit Zugrundelegung derselben 51 Beobachtungen auch diese Voraussetzung mit der Erfahrung verglichen, und es ist natürlich, dass die Uebereinstimmung dabei mangelhafter ausfallen musste, weil sonst die Einführung zweier Coefficienten schon auf gleiche Zahlen hätte führen müssen.

Die letzte bedeutendere Bearbeitung dieses Gegenstandes rührt von Eytelwein her ***); derselbe legte nämlich im Jahre 1811 der Berliner Academie noch eine Rechnung vor, worin er mit Befolgung der von Prony angewandten Methoden und wieder mit Benutzung eben derselben 51 Beobachtungen die constanten Coefficienten der ersten und zweiten Potenz der Geschwindigkeiten ermittelte, wenn er die Widerstandshöhe von der Geschwindigkeitshöhe trennte, was Prony nicht gethan hatte.

Nachdem ich im Vorstehenden auseinandergesetzt habe, was in theoretischer Beziehung zur Ermittelung der Gesetze über die Bewegung des Wassers in Röhrenleitungen geschehen ist, will

*) *Recherches physico-mathématiques sur la théorie des eaux courantes par R. Prony.* Paris 1804.

**) *Rapport à l'assemblée des ponts et chaussées sur le projet général du Canal de l'Ourcq.* Paris 1805.

***) Abhandlungen der mathematischen Klasse der Königl. Academie der Wissenschaften in Berlin aus den Jahren 1814—1815.

ich noch der bekannt gewordenen Beobachtungen erwähnen, die hierbei theils benutzt sind, theils aber hätten benutzt werden können. Die ältesten und zugleich auch die wichtigsten Beobachtungen rühren von Couplet her; er machte sie bei den Wasserleitungen zu Versailles und legte sie 1732 der Pariser Academie vor; Bossut theilt sie im angeführten Werke vollständig mit.

Sie betreffen

1) eine Röhrenleitung von 4 Zoll Weite und 1781,3 Fuss Länge; die Druckhöhe betrug abwechselnd 9 Zoll, 21 Zoll und 31 Zoll. Diese Beobachtung, welche Dubuat, Prony und Eytelwein ausgeschlossen haben, zeigt sehr bedeutende Anomalien gegen die sonstigen Resultate, indem die beobachtete Wassermenge unverhältnissmässig klein ausfällt. Couplet führt an, dass diese Röhrenleitung sehr scharfe Krümmungen hatte und mitunter ganz rechtwinkelig gebogen war und sie bald nach der Anstellung der Beobachtung durch eine andere ersetzt wurde; man kann hieraus wohl mit einigem Grunde vermuthen, dass sie nicht in gehöriger Ordnung sich befand und sie entweder leck geworden oder theilweise verstopft gewesen sein mag.

2) eine Leitung von 6 Zoll Durchmesser und 1712,8 Fuss Länge; es ist dieses dieselbe, die statt der vorigen gelegt wurde. Die Druckhöhe betrug 3 Zoll und $5\frac{1}{4}$ Zoll.

3) eine Leitung von 5 Zoll Durchmesser und 7021,6 Fuss Länge; die Druckhöhe betrug $5\frac{7}{12}$ Zoll, $11\frac{1}{3}$ Zoll, $16\frac{3}{4}$ Zoll, $21\frac{1}{12}$ Zoll und 25 Zoll.

4) eine Leitung von 18 Zoll Durchmesser und 3600 Fuss Länge wurde untersucht unter einem Drucke von 12 Fuss 1 Zoll 1 Linie.

5) eine Leitung von 12 Zoll Durchmesser von gleicher Länge ist unter demselben Drucke untersucht.

6) eine dergleichen von 18 Zoll Durchmesser und 4776 Fuss Länge bei einem Drucke von 4 Fuss $7\frac{1}{2}$ Zoll; eine Beobachtung bezieht sich hiernächst noch auf die Verbindung dieser Röhre mit einer andern, wobei man jedoch die Effecte beider Röhren nicht füglich von einander trennen kann, woher diese sich zur Entwickelung der Gesetze nicht eignet.

7) eine Leitung von 8 Zoll Durchmesser und 11400 Fuss Länge unter einem Drucke von $2\frac{1}{2}$ Fuss.

Von diesen an sieben verschiedenen Leitungen angestellten Beobachtungen hat Dubuat nur die mit No. 3 und 4 hier bezeichneten benutzt; die übrigen sind aber in allen angeführten Arbeiten weder zur Entwickelung, noch zur Vergleichung der Gesetze berücksichtigt worden.

Demnächst hat Bossut zwei Reihen von Beobachtungen angestellt, die eine mit Röhren von $1\frac{1}{7}$ Zoll Weite und die andere von 2 Zoll (oder, wie er später angiebt, von 2 Zoll $\frac{1}{8}$ Linie); bei beiden brachte er abwechselnd eine Druckhöhe von 1 Fuss und 2 Fuss an, und die Länge der Röhren betrug nacheinander 30, 60, 90, 120, 150 und 180 Fuss, woher im Ganzen vier und zwanzig einzelne Beobachtungen angestellt sind.

Ferner hat Dubuat eine Menge Beobachtungen gemacht, die jedoch zum Theil sich auf sehr enge und kurze Röhren beziehen; 10 derselben sind indessen an einer 1 Zoll weiten und 737 Zoll oder 61,42 Fuss langen Röhre gemacht, und diese werde ich später benutzen.

Bei allen vorstehenden Beobachtungen ist das Pariser Maass angewendet. Es müssen indessen hier auch noch die neueren Beobachtungen von Provis erwähnt werden, die in England gemacht sind und die sich auf englisches Maass beziehen. *) Bei diesen wurde eine Röhrenleitung von $1\frac{1}{7}$ Zoll Weite benutzt, deren Länge zunächst 100, dann 80, 60, 40 und zuletzt 20 Fuss betrug. Bei der Länge von 100 Fuss lag sie horizontal, in den übrigen Fällen aber zuerst horizontal, dann aber um $\frac{1}{112}$, $\frac{2}{112}$ und $\frac{3}{112}$ gegen den Horizont geneigt, wodurch 17 Reihen von Beobachtungen entstehen. In jeder einzelnen Reihe beträgt die Höhe des Wasserstandes über der obern Einmündung der Röhre 35, 30, 24, 18, 12 und 6 Zoll, wodurch die ganze Anzahl aller einzelnen Resultate 102 beträgt; jedes Resultat ist aber das Mittel aus zwei Beobachtungen. Stellt man die erhaltenen Resultate entweder durch Rechnung oder durch Zeichnung mit einander in Vergleich, so überzeugt man sich leicht, dass sie viel weniger genau sind, als die von Bossut und Dubuat angestellten. Provis zieht auch einige Schlussfolgen aus seinen Beobachtungen, die jedoch wenig

*) *Transactions of the Institution of Civil Engineers. Vol. II.* London 1838. *p.* 201.

besagen und wobei es nur auffallend ist, dass er die ganze Druckhöhe gar nicht in Betracht zieht, während eben diese Beobachtungen eine Bestätigung des Dubuatschen Satzes liefern, dass es auf die Neigung der Röhre gar nicht ankommt, sondern nur auf die Druckhöhe. Aus diesem Grunde habe ich auch bei Erwähnung der theoretischen Arbeiten über diesen Gegenstand die Untersuchung von Provis nicht angeführt.

Dieses wären die Beobachtungen, die man zur Vergleichung der verschiedenen Theorien benutzen kann; bevor ich zu derselben übergehe, muss ich bemerken, dass die ziemlich allgemein angenommene Voraussetzung, dass die Widerstandshöhen unter übrigens gleichen Umständen sich wie die Quadrate der Geschwindigkeiten verhalten sollen, nicht richtig zu sein scheint. Nach dem oben, bei Gelegenheit der Untersuchung von Eytelwein, angeführten Räsonnement lässt es sich ungefähr rechtfertigen, wenn man den Widerstand, als Verlust an lebendiger Kraft, dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional setzt. Diese lebendige Kraft kann aber ausgedrückt werden durch das Product der Wassermenge in das Quadrat der Geschwindigkeit, oder durch die Geschwindigkeit multiplizirt in die zu ihrer Erzeugung nöthige Druckhöhe; dividirt man nun auf beiden Seiten durch die Wassermenge, so ergiebt es sich, dass die zur Ueberwindung der Widerstände erforderliche Druckhöhe, oder die Widerstandshöhe, nur der ersten Potenz der Geschwindigkeit proportional sein kann. — Sodann muss ich anführen, dass eine Trennung der Widerstandshöhe von der Geschwindigkeitshöhe im Allgemeinen nothwendig erscheint und dass dadurch auch in der That die mit kürzeren Leitungen angestellten Beobachtungen unter sich in bessere Uebereinstimmung gebracht werden können. D'Aubuisson äussert sich zwar, dass bei Bestimmung der constanten Factoren durch Prony schon ein Glied, das die zweite Potenz der Geschwindigkeit enthält, eingeführt sei und hierin auch der Ausdruck der von Eytelwein besonders berechneten Geschwindigkeitshöhe liegen müsse. Dieses ist aber wohl nicht richtig, denn der letzte Ausdruck ist von der Länge der Röhre unabhängig, während in der Pronyschen Formel diese Grösse in beiden Gliedern als Factor vorkommt. Andererseits ist es indessen gewiss, dass bei längeren Röhrenleitungen die Geschwindigkeitshöhe im Vergleiche zur Widerstandshöhe sehr gering

ausfällt und sonach bei einer Anwendung auf grössere Wasserleitungen die letztere auch ohne merklichen Nachtheil unbeachtet bleiben darf; bei Herleitung der Gesetze aus solchen Beobachtungen, die zum Theil mit kurzen Leitungen angestellt sind, giebt sich indessen die Nothwendigkeit zu erkennen, von ihr besonders Rechnung zu führen.

Endlich kommt bei dieser ganzen Untersuchung noch der Umstand in Betracht, dass schon Dubuat bemerkt, wie bei einer höheren Temperatur das Wasser an Beweglichkeit gewinnt und sich unter übrigens gleichen Umständen viel schneller bewegt, als dieses geschieht, wenn es kälter ist. Die Versuche, die der Professor Gerstner im Jahre 1796 ausführte *), stellten diese Thatsache nicht nur ausser allen Zweifel, sondern zeigen auch, dass der Einfluss der Temperatur höchst bedeutend ist und dass unter gewissen Umständen eine Erwärmung um 6 Grade die Geschwindigkeit und sonach die Wassermenge schon verdoppeln kann.

Hiernach darf man wohl durch die bisher aufgestellten Theorien, die auf die Temperatur gar nicht Rücksicht nehmen, diesen Gegenstand noch nicht als erledigt ansehen. In der Hoffnung, dass bei kleineren Röhrenleitungen das Wasser denselben Gesetzen folgen würde, wie bei grösseren, und dass der Einfluss des Widerstandes sich dort noch deutlicher herausstellen müsste, habe ich vielfache Beobachtungen mit engen Röhren angestellt. **) Die Röhren, die ich zuletzt benutzte, waren von Messing über Stahldrähten gezogen bis $\frac{1}{5}$ Zoll weit. Der Zuflussbehälter wurde durch einen schwimmenden Heber gespeist und dadurch der Wasserstand unverändert erhalten. Zur Messung des Wasserstandes, sowohl in dem Zuflussbehälter, als in demjenigen, worin die Röhren das Wasser ausgossen, dienten theils schwimmende Marqueure und theils Stahlspitzen, welche die Oberfläche des Wassers berührten. Jede Beobachtung wurde aber erst dann angestellt, wenn der Abfluss sich vollständig gegen den Zufluss regulirt hatte, und jedesmal wurde die Temperatur gemessen und die Vergleichung zwischen den verschiedenen Marqueuren angestellt,

*) Gilbert's Annalen der Physik, Band V. Die Beobachtungen sind auch mitgetheilt im Handbuche der Mechanik von F. A. v. Gerstner. II. Band. Prag 1832.

**) Poggendorff's Annalen. Band 36. S. 423 ff.

um die Druckhöhe genau bestimmen zu können. Ich erreichte hierdurch eine sehr grosse Uebereinstimmung der Versuche unter sich, und sehr deutlich trat ein einfaches und leicht zu erklärendes Gesetz über den Widerstand hervor; aber ganz unerwartet geschah dieses in einer Art, dass eine Anwendung auf die in der Praxis vorkommenden Fälle unmöglich blieb, indem alle sonst bekannten Beobachtungen die auffallendsten Abweichungen von diesem Gesetze zeigten. Aber auch meine eignen Beobachtungen befolgten nur innerhalb einer gewissen Grenze das aufgefundene Gesetz; sie zeigten gleichfalls sehr grosse Abweichungen, sobald diese Grenze der Geschwindigkeit überschritten wurde, und selbige lag für die weiteren Röhren weit näher, als für die engeren. Die Erscheinung selbst zeigte auch sehr deutlich an, ob diese Grenze überschritten sei oder nicht; liess ich nämlich den Strahl in der Luft und nicht unter Wasser ausspritzen, so erschien er gleich dem Strahle aus der Oeffnung in der dünnen Wand von unveränderter Form und ohne alle Undulationen, so lange die Geschwindigkeit jene Grenze nicht überschritt, er fing aber sogleich an zu schwanken und zeigte die stossweise verstärkte innere Bewegung, wie der Strahl aus der kurzen Ansatzröhre, sobald die Druckhöhe oder die Geschwindigkeit grösser geworden war. Das aufgefundene Gesetz gilt also nur so lange, als das Wasser in der ganzen Röhrenleitung durch den Widerstand in Spannung erhalten wird und die innern oder periodischen Bewegungen nicht eintreten. Bei allen in der Praxis vorkommenden Fällen geschieht das Letztere, und sonach sind jene Resultate von keinem unmittelbaren Nutzen für die Praxis. Ich will indessen die Endgleichungen, die ich nach der Methode der kleinsten Quadrate aus den Beobachtungen dargestellt habe, hier anführen. Bedeutet M die Wassermenge in einer Secunde, ϱ den Halbmesser der Röhre, l deren Länge und h die Druckhöhe, so finde ich für die Temperatur von 8 Graden Réaumur, indem alle Abmessungen in Pariser Zollen ausgedrückt sind

$$h = \frac{1}{\varrho^4}(0{,}000012354 \,.\, l \,.\, M + 0{,}00037752 \,.\, M^2)$$

und für eine Temperatur von t Graden Réaumur verwandelt sich der constante Factor des ersten Gliedes in

$$0{,}00001726 - 0{,}000000785 \,.\, t + 0{,}0000000216 \,.\, t^2$$

Der Factor des zweiten Gliedes, der ebensowohl von der Länge der Röhre, als auch von der Temperatur unabhängig ist, ist nichts anderes als der Contractions-Coefficient des Strahles, der durch die Oeffnung in der dünnen Wand austritt. Das erste Glied bezeichnet sonach die Widerstandshöhe und diese ist der ersten Potenz der Wassermenge oder der Geschwindigkeit proportional. Um die vierte Potenz des Halbmessers der Röhre in der Darstellung der Widerstandshöhe zu erklären, muss man aber wieder die Voraussetzung machen, dass das Wasser sich nicht wie ein fester Cylinder durch die Röhre schiebt, sondern dass es vielmehr in dünnen concentrischen Schalen sich fortbewegt, von denen eine der andern voreilt, bis der Wasserfaden in der Axe der Röhre die grösste Geschwindigkeit erreicht.

Sobald dagegen die erwähnte Grenze überschritten wird, hört augenscheinlich die ruhige und gleichmässige Bewegung auf und sogleich vermindert sich sehr auffallend die ausfliessende Wassermenge. Die unverkennbaren innern Bewegungen zerstören sonach einen Theil der lebendigen Kraft des Wassers und die Ergiebigkeit der Röhre wird dadurch sehr viel geringer. Durch Annahme eines Ausdruckes, der dem obigen ähnlich ist, kann man für diesen Fall nicht mehr die Resultate einer Beobachtungsreihe darstellen, setzt man aber die Druckhöhe der Länge der Röhre und zugleich dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional, so werden die bleibenden Fehler zwar geringer, sie sind aber dennoch so bedeutend und fallen so regelmässig, dass man sie nicht als Beobachtungsfehler ansehen darf und vielmehr eine Modification des Gesetzes versuchen muss. Endlich erwähne ich aber, dass nach meinen Beobachtungen auch für diesen Fall der Einfluss der Temperatur noch bemerkbar bleibt, sich jedoch viel geringer herausstellt, als bei den engen Röhren.

Wenn zunächst der Einfluss der Temperatur ausser Betracht gelassen wird, was natürlich auch geschehen muss, sobald man die oben erwähnten fremden Beobachtungen benutzen will, so fragt es sich, ob man nach der von Coulomb zuerst angegebenen Methode die gehörige Uebereinstimmung darstellen kann. Ich setzte sonach mit Einführung der Geschwindigkeitshöhe und zwar

unter Annahme des Coefficienten für cylindrische Ansatzröhren (was später gerechtfertigt werden wird)

$$h = \frac{c^2}{4\,g\,.\,(0{,}82)^2} + l\,(p\,.\,c + q\,.\,c^2).$$

wo h die ganze Druckhöhe, c die mittlere Geschwindigkeit, l die Länge der Röhre und p und q die constanten Factoren bedeutet. Für jede einzelne Röhrenweite in den vorstehend angegebenen, sowie auch in den von mir angestellten Beobachtungen, bestimmte ich nach der Methode der kleinsten Quadrate die Werthe von p und q und erreichte dadurch eine genügende Uebereinstimmung der einzelnen Beobachtungen in jeder Reihe, welche die Annahme eines solchen Gesetzes zu bestätigen schien. Verglich ich aber die auf solche Art gefundenen Werthe von p und q mit einander und versuchte es, ihre Abhängigkeit von dem Halbmesser der Röhre oder von ϱ darzustellen, so ergaben sich so grosse Abweichungen, dass diese Annahme sich als ganz unstatthaft herausstellte.

Der andere, von Woltman zuerst eingeschlagene Weg, nämlich die Widerstandshöhe einer gewissen, aus den Beobachtungen zu ermittelnden Potenz proportional zu setzen, führte dagegen nicht nur zu einer grösseren Uebereinstimmung, sondern machte es auch sehr wahrscheinlich, dass der Exponent 1,75 der richtige sei. Nachdem ich daher diesen vorläufig angenommen hatte, versuchte ich es zunächst die Geschwindigkeitshöhe zu bestimmen, und da diese durch ein Glied ausgedrückt werden muss, welches die zweite Potenz der Geschwindigkeit als Factor enthält, aber von der Länge der Röhre unabhängig ist, so konnten hierzu nur solche Beobachtungen dienen, die mit gleichweiten Röhren von sehr verschiedener Länge angestellt waren. Dieses ist nun bei den Beobachtungen von Bossut, Provis und meinen eignen der Fall, indem ich die benutzte Röhre zerschnitt, und alle drei Male ergab sich aus der Vergleichung der längeren und kürzeren Röhren, dass jenes Glied nahe $\frac{3}{2}\,.\,\frac{c^2}{4g}$ gesetzt werden müsste, was mit dem Coefficienten für cylindrische Ansatzröhren ungefähr gleichkommt. Nunmehr setzte ich für jede einzelne Röhre

$$h = \left(\frac{c}{0{,}82}\right)^2 . \frac{1}{4g} + p\,.\,l\,.\,c^{\frac{7}{4}}$$

wo die Buchstaben die obige Bedeutung haben und p einen constanten Factor bezeichnet. Es ergiebt sich aber, dass p ungefähr umgekehrt der Weite der Röhre proportional ist, ich führe daher noch die Bezeichnung $\varkappa = p \cdot \varrho$ ein und erhalte hiernach mit Benutzung der sämmtlichen Beobachtungsreihen und darunter auch derer, die Dubuat mit sehr engen Röhren angestellt hat, die folgenden Werthe für p und $\varkappa$

Beobachter	ϱ in Zollen	p	$\varkappa$
1) Dubuat . . .	0,0278	1,466	0,04071
2) Dubuat . . .	0,0625	0,1054	0,00659
3) Dubuat . . .	0,0833	0,0619	0,00516
4) Hagen	0,1090	0,0447	0,00487
5) Dubuat . . .	0,1208	0,0334	0,00404
6) Dubuat . . .	0,5	0,00624	0,00312
7) Bossut. . . .	0,6667	0,00473	0,00315
8) Provis. . . .	0,7037	0,00474	0,00333
9) Bossut. . . .	1,0052	0,00288	0,00288
10) Couplet . . .	2,0	0,00860	0,01721
11) Couplet . . .	2,5	0,00131	0,00328
12) Couplet . . .	3,0	0,00183	0,00550
13) Couplet . . .	4,0	0,00110	0,00440
14) Couplet . . .	6,0	0,00103	0,00616
15) Couplet . . .	9,0	0,00055	0,00496

Die Zahlen der letzten Columne, welche eine Constante darstellen sollen, zeigen sehr bedeutende Abweichungen, doch lässt sich dafür zum Theil wohl der Grund angeben. Was nämlich zunächst die sehr grossen Werthe von $\varkappa$ bei engen Röhren betrifft, so giebt sich hier offenbar der Uebergang aus jener regelmässigen Bewegung zu erkennen, deren Gesetze ich oben entwickelt habe. Der Widerstand, den die Röhrenwand der Bewegung entgegensetzt, erlaubt der nächsten Wasserschicht nicht, an der allgemeinen Bewegung Theil zu nehmen, und sonach bewegt sich das Wasser nicht in dem ganzen Querschnitte, sondern nur in dem innern Theile desselben. Der Versuch, den Halbmesser oder ϱ um eine gewisse constante Grösse zu vermindern, um den Factor $\varkappa$ auf den Werth zu reduciren, den er bei den Röhren von 1—2 Zoll Weite annimmt, ergab, dass eine Wasser-

schicht von 0,01 Zoll Dicke zunächst der Wand in Ruhe gedacht werden musste. Unter dieser Voraussetzung, die für die weiteren Röhren keine merkliche Aenderung mehr bedingt, verschwinden die Anomalien, welche die engen Röhren in der vorstehenden Beobachtungsreihe zeigen.

Was demnächst die starke Anomalie in No. 10 betrifft, so erklärt diese sich wohl schon durch das, was oben angeführt ist, denn Couplet sagt selbst, dass die Röhre sehr scharfe Krümmungen hatte. Auch die folgenden Röhren, deren Effect Couplet beobachtete, waren sämmtlich mit Krümmungen versehen, die er jedoch theilweise als sanft abgerundet bezeichnet, und die sämmtlich minder scharf, als bei jener vier Zoll weiten Röhre waren. Endlich muss hier noch erwähnt werden, dass die Coupletschen Beobachtungen, insofern ich sie mit besonderen Nummern bezeichnet habe, grossentheils nur die Resultate einer einzigen oder doch nur von sehr wenigen Beobachtungen angeben, während die Beobachtungen von Bossut, Dubuat und Provis sehr ausgedehnte Reihen umfassen. Hiernach wird es sich rechtfertigen, dass ich für gerade und recht regelmässige Röhrenleitungen den Factor $\varkappa$ gleich 0,00315 annehme; bei Leitungen mit schwachen Krümmungen steigt er bis 0,005 und wenn scharfe Krümmungen vorkommen, sogar bis 0,01 und darüber. Es kommen hierbei aber augenscheinlich nicht nur die Krümmungen in Betracht, sondern auch die Verengungen der Röhren durch Niederschläge, durch Ansammlung der Luft u. dergl. D'Aubuisson räth daher, bei jeder Anwendung der aus der Beobachtung hergeleiteten Formel die Dimensionen so zu bestimmen, als ob sie ein halb Mal mehr Wasser leiten sollten, als man braucht. Sind die Röhren endlich nur einige Linien weit, so muss man nicht unterlassen, die an der Wand haftende Wasserschicht zu berücksichtigen und deshalb den Radius um 0,01 Zoll zu verändern. Auf preussisches Maass reducirt erhält man sonach für gerade Leitungen den Ausdruck

$$h = 0{,}024 \, . \, c^2 + 0{,}003 \, . \, \frac{l}{\varrho} \, c^{\frac{7}{4}}$$

wo h, c und l in Fussen und ϱ in Zollen ausgedrückt sind.

Was nun den Einfluss der Temperatur anbetrifft, so ist derselbe nach meinen Versuchen nicht zu verkennen, jedoch viel unbedeutender, als bei den engen Röhren; indem ich die Tem-

peratur von 6 bis 24 Graden Réaumur zunehmen liess, zeigte es sich, dass bei einer Zunahme um 3 Grade der Coefficient des zweiten Gliedes um 0,0001 abnahm; die angegebene Grösse des Coefficienten bezieht sich auf die Temperatur von 8 Graden Réaumur, daher würde man erhalten

bei + 2°		$x = 0,0032$
- + 5°		$x = 0,0031$
- + 8°		$x = 0,0030$
- + 11°		$x = 0,0029$
- + 14°		$x = 0,0028$

Aus dem Gesagten ergiebt es sich freilich, dass meine Beobachtungen wegen der geringen Weite der Röhre nicht gut geeignet waren, hierüber einen sichern Aufschluss zu geben; doch musste ich sie hier benutzen, da bei keinen andern die Temperaturen angegeben sind.

Die vorstehenden Ausdrücke sind diejenigen, welche sich mit der grössten Wahrscheinlichkeit aus den vorliegenden Beobachtungen ergeben; sie sind indessen so wenig sicher, dass die aus ihnen hergeleiteten Resultate immer nur als Näherungswerthe angesehen werden können, und es rechtfertigt sich daher, wenn man das erste Glied des Ausdruckes für h, welches in allen, in der Praxis vorkommenden Fällen sehr klein ist, ganz fortlässt. Verwandelt man ausserdem, wie bereits angegeben worden, den constanten Factor des zweiten Gliedes in 0,005, so erhält man

$$h = 0,005 \cdot \frac{l}{\varrho} \cdot c^{\frac{7}{4}}$$

Dieses möchte der Ausdruck sein, der sich für die Anwendung besonders eignet. — Führt man darin die Wassermenge M ein, nämlich

$$M = \frac{\varrho^2 \pi}{144} \cdot c$$

so findet man

$$h = \frac{4 \cdot l}{\varrho^{\frac{9}{4}}} \cdot M^{\frac{7}{4}}$$

oder

$$\varrho^{\frac{9}{4}} = \frac{4 \cdot l}{h} \cdot M^{\frac{7}{4}}$$

Dieser Ausdruck ist für die logarithmische Berechnung sehr bequem, während man sonst auf eine Gleichung des fünften Grades zu kommen pflegt.

Dass die Krümmungen, besonders wenn sie scharf und mit keiner Erweiterung der Röhre verbunden sind, die Geschwindigkeit des Wassers merklich verzögern, ist schon nach den Coupletschen Beobachtungen sehr wahrscheinlich; Bossut hat hierüber besondere Beobachtungen angestellt, die man jedoch nicht benutzen kann, um daraus die Grösse ihres Einflusses abzuleiten, da die Stärke der Krümmung nicht bestimmt angegeben wird. Dagegen hat Dubuat aus seinen Messungen gefunden, dass zur Ueberwindung des Widerstandes, den jede Krümmung der Bewegung des Wassers entgegensetzt, noch eine besondere Vermehrung der Druckhöhe erforderlich ist, die bei Anwendung des Pariser Zollmaasses ausgedrückt wird durch

$$h = \frac{c^2 s^2}{3000}$$

c bedeutet hier, wie immer, die Geschwindigkeit und s ist gleich $Cos \frac{1}{2} \varphi$, wenn die beiden durch die Krümmung mit einander verbundenen Röhrentheile zusammen den Winkel φ einschliessen. Durch Reduction auf preussisches Fussmaass erhält man

$$h = 0{,}004 \, . \, c^2 \, . \, s^2$$

Von diesem Ausdrucke macht Dubuat und ebenso auch d'Aubuisson in der Art Gebrauch, dass unter φ nicht der Winkel verstanden wird, den die geraden Röhrenschenkel gegen einander bilden, sondern vielmehr zieht man in der Axe der Röhre eine gerade Linie, und sobald diese die Röhrenwand trifft, so lässt man sie wie einen Lichtstrahl reflectiren und wiederholt dieses so lange, bis sie ungefähr wieder in die Axe des geraden Schenkels gelangt. Unter φ werden daher die Polygonalwinkel verstanden, die dieser Strahl bildet, und es ist klar, dass jene Druckhöhe, die den Widerstand in den Krümmungen überwinden soll, insofern sie durch $Cos \frac{1}{2} \varphi^2$ ausgedrückt wird, besonders klein ausfällt, wenn man recht viele Anprellungen des mittleren Fadens darstellen kann, oder wenn der Krümmungshalbmesser im Vergleiche zur Röhrenweite recht gross ist. Bei sehr engen Röhren reducirt sich diese Grösse fast auf 0, während bei gleichem Krümmungswinkel und gleichem Krümmungshalbmesser eine weitere Röhre schon sehr ansehnliche Werthe für die Vermehrung der Druckhöhe geben kann. Diese Schlussfolge ist gewiss an sich sehr wenig wahrscheinlich, und überdies lässt sich diese Einführung der Polygonal-

winkel aus den Dubuatschen Beobachtungen (die *Vol. II.* S. 34 ff. beschrieben werden) auch nicht rechtfertigen, indem Dubuat zum Theil die gegenseitige Neigung zweier Röhrentheile in Rechnung gestellt hat, zum Theil aber, wenn er ein solches Verfahren, wie hier angedeutet, anwendete, er doch immer die Röhrenweite so gross annahm, dass selbst die schärfsten Krümmungen mit zwei Anprellungen überwunden werden.

Nach meinem Dafürhalten ist diese Bestimmung des Einflusses der Krümmungen, sowie die Anwendung, die man davon machen kann, sehr unsicher; da es aber sehr wahrscheinlich ist, dass das Wasser beim Durchgange durch weitere Röhren eine sehr starke innere Bewegung annimmt, so sollte man kaum glauben, dass der Einfluss von mässigen und sanften Krümmungen überhaupt noch merklich sein sollte. Eine bleierne Röhre von $\frac{1}{4}$ Zoll Weite und 8 Fuss Länge gab genau gleiche Resultate, wenn ich ihr eine kreisförmige Windung gab, oder wenn ich sie in gerader Linie auszog. Bei scharfen Krümmungen, namentlich wenn sie durch bleierne Röhren dargestellt werden, tritt indessen eine Verengung des Querschnittes ein, und jedesmal geben die Krümmungen und besonders die in verticaler Richtung stattfindenden, Veranlassung zum Niederschlage der festen Theile, die das Wasser mit sich führt und zum Ansammeln der Luft, und hierdurch setzen sie augenscheinlich sehr viel grössere Hindernisse der Bewegung entgegen. Wenn man sonach die aus den Coupletschen Beobachtungen, die an grösseren Wasserleitungen angestellt sind, hergeleiteten Factoren benutzt, oder wenn man statt des Factors 0,003 den Werth 0,005 einführt, so ist der Einfluss der gewöhnlichen nicht zu vermeidenden Krümmungen dabei schon berücksichtigt und man hat nicht nöthig, den letzteren noch besonders zu berechnen; es ist dieses ungefähr dieselbe Regel, die d'Aubuisson giebt.

In ähnlicher Art verhält es sich auch wohl mit den Verengungen, die hin und wieder in der Röhre eintreten; man muss solche möglichst zu vermeiden suchen, man darf aber nicht annehmen, dass eine solche, wenn sie nur mässig ist und auf sehr kurze Strecken vorkommt, eine starke Verminderung der Wassermenge bedingt, denn zur Erzeugung der hier nöthigen Geschwindigkeit wird zwar ein gewisser Theil der Druckhöhe

consumirt, aber eben diese grössere Geschwindigkeit liefert auch wieder die lebendige Kraft zur Ueberwindung der Widerstände im folgenden Theile der Röhrenleitung. Ich fand, dass die Wassermenge, sobald ich die Einmündung der Röhre um die Hälfte ihres Querschnittes verengte, ganz unverändert blieb; brachte ich aber eine gleiche Verengung an der Ausmündung der Röhre an, so gab sich gleich eine starke Abnahme der Wassermenge zu erkennen, indem die zur Erzeugung der grösseren Geschwindigkeit erforderliche lebendige Kraft in dem letzten Falle als vollständiger Verlust zu betrachten war.

Bei Erwähnung der wichtigeren Gesetze über die Bewegung des Wassers in Röhrenleitungen darf die Verschiedenheit des Druckes, welchen die Wände der Röhren bei wechselnder Geschwindigkeit des Wassers erfahren, nicht mit Stillschweigen übergangen werden, indem man eines Theils in neuerer Zeit hiervon den wichtigen Vortheil der Controle des Effects einer ganzen Leitung gezogen hat und demnächst auch sich hierin die Gelegenheit darbietet, den Einfluss der Verengungen und Krümmungen und anderer Anomalien in den Röhren sehr genau zu ermitteln; endlich aber bestimmt dieser Druck auch die Höhe des Strahles, wenn man einen Springbrunnen durch eine Röhrenleitung speisen will. Daniel Bernouilli stellte zuerst den Grundsatz auf *), dass der gegen die Röhrenwand ausgeübte Druck gleich sei der Differenz zwischen der ganzen Druckhöhe und derjenigen Höhe, welche der Geschwindigkeit des Wassers an der fraglichen Stelle der Röhrenleitung entspricht. Indem nämlich die Geschwindigkeit parallel mit der Axe der Röhre angenommen wird, so trifft das bewegte Wasser nicht die Röhrenwand, und folglich verschwindet der Druck derjenigen Wasserhöhe, welche die Geschwindigkeit erzeugt. Die Erfahrung bestätigt dieses hydraulico-statische Princip, wie Bernouilli es nennt, vollständig, wenn man eine nothwendige Aenderung in dem Werthe der ganzen Druckhöhe anbringt, die Bernouilli weiterhin auch deutlich angiebt. Wenn nämlich eine Stelle der Röhrenwand untersucht wird, die in einem gewissen Abstande, der gleich a sei, von dem Speisebassin entfernt ist, so kann auf selbige nicht mehr die ganze

*) *Hydrodynamica, Strasburg* 1738. *Sect. XII.* §. 3.

Druckhöhe wirken, sondern ein Theil der letzteren ist bereits consumirt durch die Widerstände, welche bei der stattfindenden Geschwindigkeit auf dem Wege von der Länge *a* zu überwinden waren; es sind in Betreff des folgenden Theiles der Röhrenleitung die Verhältnisse ganz dieselben, als wenn die Röhre bei dem zu untersuchenden Punkte ihren Anfang nähme und die Druckhöhe um diejenige Quantität vermindert wäre, welche der Widerstandshöhe für die Länge *a* gleichkommt. Diese Reduction muss man also eintreten lassen. Wenn man nun in eine ganz regelmässig geformte cylindrische Röhrenleitung eine Reihe von verticalen und oben offenen Glasröhren aufkittet, die mit jener in Verbindung stehen, ohne ihren Querschnitt zu beschränken, so zeigen diese durch die Höhe des Wasserstandes sehr genau den Druck an, den die Wand der Leitung jedesmal erfährt. Man wird aber bemerken, dass der Wasserstand in der ersten Glasröhre, die sehr nahe an dem Speisebassin steht, mit dem Niveau im letzteren nicht übereinstimmt, sondern um die Geschwindigkeitshöhe tiefer liegt; in allen folgenden wird aber immer nach Maassgabe der überwundenen Widerstände, also im Verhältnisse der Länge der Röhre die Höhe des Wasserstandes abnehmen, bis endlich in diejenige Röhre, welche unmittelbar an die Ausflussmündung der Leitung (insofern der Ausfluss nicht unter Wasser geschieht) gekittet ist, das Wasser gar nicht mehr hineintritt, oder hier der Druck ganz aufgehört hat. Dass dieses wirklich der Fall ist, ergiebt sich schon daraus, dass der aus der Röhrenleitung hervortretende Strahl sich gar nicht ausbreitet und er daher auch keinen Seitendruck mehr übt. Tritt dagegen der Strahl unter Wasser aus, so wird die gerade Linie, welche die Wasserstände in den Glasröhren verbindet, am Ende der Röhrenleitung das Niveau des Unterwassers treffen. Wäre dagegen an der Ausmündung der Röhrenleitung eine Verengung angebracht, oder ein Hahn befindlich, der den Querschnitt um eine gewisse Quantität beschränkte, so würde eben dadurch die Ergiebigkeit etwas ermässigt werden und in gleichem Verhältnisse auch die Geschwindigkeit in der cylindrischen Leitung abnehmen; dieses müsste aber die Folge haben, dass die betreffende Geschwindigkeitshöhe und ebenso auch die Widerstandshöhen sich vermindern, und folglich müssten die Wasserstände in allen Glasröhren oberhalb

jenes Hahnes steigen, sie würden aber noch immer in einer geraden Linie liegen. Wenn nun aber der Hahn oder eine andere Verengung des Profiles zwischen jenen Glasröhren eingeführt wird, so muss sogleich die gerade Linie unterbrochen werden, denn eine Niveaudifferenz muss sich hier zu erkennen geben, welche der Zunahme der Geschwindigkeit in dem verengten Profile entspricht, und da solche Sperrungen jedesmal wieder eine Verminderung der Wassermenge zur Folge haben, so steigt dabei auch immer das Wasser in der vorhergehenden Glasröhre. Wenn endlich an irgend einer Stelle das Profil der Röhrenleitung ganz gesperrt wird, so hört die Geschwindigkeit mit allen Widerständen auf und alle Glasröhren oberhalb der abgesperrten Stelle zeigen den Wasserstand des Oberwassers, sowie die unterhalb derselben befindlichen entweder ganz leer werden, oder nur den Wasserstand des Unterwassers annehmen.

Auf solche Art geben eingesetzte Glasröhren sehr deutlich alle Widerstände zu erkennen, welche in der Röhrenleitung vorkommen, und sie gestatten es, durch eine genaue Messung die Grösse des Widerstandes zu ermitteln, den Krümmungen, absichtliche oder zufällige Sperrungen und andere Hindernisse in der Röhrenleitung veranlassen. Belanger *) machte zuerst auf diese wichtige Anwendung des Bernouillischen Princips aufmerksam und gemeinschaftlich mit Génieys und Mallet stellte er einige Beobachtungen an den Wasserleitungen zu Paris an. Die Beobachtungen waren so wenig umfassend, dass sie in wissenschaftlicher Beziehung von keiner Bedeutung sind, woher ich sie auch oben nicht erwähnt habe, der angewendete Apparat verdient jedoch näher bezeichnet zu werden, indem dabei auf eine sehr sinnreiche Art die Verlängerung der Glasröhren bis über die natürliche Druckhöhe für die zu untersuchende Stelle vermieden ist und man sonach auch in dem beschränkten Raume neben den Leitungsröhren, eines starken Druckes unerachtet, die Beobachtungen anstellen kann.

Fig. 64 auf Taf. V. zeigt diesen Apparat, und es ist dabei angenommen, dass man den Widerstand kennen lernen will, den das Wasser erfährt, indem es aus der grösseren Hauptröhre in

*) *Essai sur les moyens de conduire, d'élever et de distribuer les eaux par M. Génieys.* Paris 1829.

die normal austretende Zweigröhre gelangt. Man bohrt in beide Röhren auf der obern Seite feine Löcher ein und setzt dieselben mit zwei Bleiröhren in Verbindung, die auf der andern Seite mit zwei Glasröhren verbunden sind. Die letzteren sind auf einem dreibeinigen Fusse parallel zu einander aufgestellt und können mittelst Fussschrauben vertical gerichtet werden, während ein Maassstab hinter beiden angebracht ist, woran man die Wasserstände und deren Unterschied ablesen kann. Beide Glasröhren sind endlich durch eine gekrümmte Messingröhre oben vereinigt, so dass sie miteinander jederzeit communiciren und mittelst eines genau schliessenden Hahnes kann man die Messingröhre auch mit der äussern Luft in Verbindung setzen. Will man nun die Beobachtung anstellen, so befestigt man die flexibeln Bleiröhren an die Leitungsröhren, wie dieses später beschrieben werden wird, und stellt den Apparat so auf, dass der Maassstab vertical gerichtet ist. Sobald nun die Leitung in Thätigkeit gesetzt wird, so erlaubt die in den Blei- und Glasröhren eingeschlossene Luft es nicht, dass das Wasser in den Glasröhren bis zur vollen Druckhöhe steigt; man kann aber durch ein geringes Oeffnen des erwähnten Hahnes eine beliebige Quantität Luft herauslassen, so dass die Wasserstände in diejenige Höhe treten, wo man sie bequem ablesen kann. Es ist klar, dass, wie gross auch immer die Spannung der in den Röhren eingeschlossenen Luft sein mag, die beiden Wassersäulen sich nach Maassgabe des Druckes, den sie erfahren, ins Gleichgewicht setzen werden, und ihre Niveaudifferenz, die man eben kennen lernen will, ist ganz unabhängig von jener Spannung der eingeschlossenen Luft.

Eine andere Anwendung von dieser Glasröhre, welche den Seitendruck des Wassers erkennen lässt, machte d'Aubuisson bei der Wasserleitung zu Toulouse, indem er von den Hauptröhren der Leitung dünne Röhren nach dem Geschäftszimmer führte, wo man wieder den Druck und folglich auch den Effect der ganzen Leitung beobachten konnte. Je kräftiger nämlich die Leitung wirkte, oder je grösser die Wassermenge war, die sie förderte, um so grösser musste die Geschwindigkeit sein und folglich stellte sich um so niedriger der Wasserstand in der nahe am Anfange der Röhrenleitung aufgestellten Glasröhre. Sobald der Wasserstand aber stieg, so zeigte dieses an, dass mehrere Hähne geschlossen,

oder dass zufällige Hindernisse eingetreten waren. Dadurch wurden die Beamten in den Stand gesetzt, durch einen Blick auf die Glasröhren die Wirksamkeit der ganzen weit ausgedehnten Röhrenleitung zu controliren. Man gab diesem Instrumente den Namen Piezometer oder Druckmesser.

Endlich bestimmt sich, wie bereits erwähnt worden, auch die Höhe eines springenden Strahles oder überhaupt die Geschwindigkeit desselben nach dem Drucke, den das bewegte Wasser an dieser Stelle gegen die Röhrenwand ausübt; oder man muss, um beide zu ermitteln, wieder die ganze Druckhöhe um diejenige Höhe vermindern, welche für die jedesmalige Geschwindigkeit zur Ueberwindung der Widerstände in der vorhergehenden Röhrenleitung consumirt wird. Es ergiebt sich hieraus die Ursache, weshalb beim ersten Oeffnen des Hahns der Strahl unter der vollen Druckhöhe, also viel höher steigen kann, als später, wenn das Wasser in der Röhre in Bewegung kommt und dadurch die Widerstände sich bilden, welche die Druckhöhe vermindern. Von der Verminderung der Höhe um den Theil, der zur Erzeugung der Geschwindigkeit in der Leitungsröhre erforderlich ist, kann hier aber abstrahirt werden, insofern das Wasser nicht an der Sprungöffnung vorbeifliesst, sondern vielmehr in diese hineintritt, woher denn die bereits erlangte Geschwindigkeit sich dem Strahle wieder mittheilt. Die Höhe, zu welcher der Strahl steigt, ist nach dem, was früher mitgetheilt worden, immer etwas geringer als die Druckhöhe; genau lässt sich nach den wenigen hierüber angestellten Beobachtungen das Gesetz nicht angeben, doch scheint die Differenz beider Höhen proportional zu sein dem Quadrate der Druckhöhe, wenigstens ergeben dieses ungefähr die Mariotteschen Beobachtungen und man hat, wenn h die reducirte Druckhöhe und h' die Höhe des springenden Strahles bezeichnet, in preussischem Maasse

$$h' = h - \frac{h^2}{360}$$

Es gilt dieser Ausdruck indessen nur für den Fall, dass der Strahl durch die Oeffnung in der dünnen Wand austritt; hat man eine cylindrische Ansatzröhre angewendet, oder eine conische, so muss die gefundene Höhe noch nach Maassgabe der oben angegebenen Verminderung der Geschwindigkeit beim Durchgange des Wassers durch diese Oeffnungen vermindert werden.

§. 18.

Speisung der Leitungen.

Unter den verschiedenen Arten von Wasserleitungen sind besonders diejenigen wichtig, deren Zweck es ist, grössere Orte mit reinem Wasser zu versorgen; von diesen soll hier allein die Rede sein. Die übrigen, welche etwa zum Betriebe von Mühlen u. dergl. angelegt werden, zeigen weder in ihrer Anordnung, noch ihrer Construction irgend welche Eigenthümlichkeiten, die bei jenen nicht vorkommen sollten, während dort noch ganz besondere Erfordernisse hinzutreten, deren Berücksichtigung oft sehr schwierig ist.

In kleinen Gebirgsstädten sind solche Wasserleitungen gemeinhin sehr einfach angeordnet; der Quell, durch den sie gespeist werden, enthält schon reines und klares Wasser, und man braucht ihn nur in einiger Höhe über dem Boden abzuleiten und dadurch das Eintreten von Sand und feinem Kiese zu verhindern. Ausserdem ist in diesem Falle auch gemeinhin das Gefälle so stark, dass der Röhrenstrang in einer ununterbrochenen Neigung den höchsten Punkt der Stadt erreichen kann und ein fliessender Brunnen, oder wohl gar ein Springbrunnen hier das Wasser in ein Bassin ausgiesst, welches vielleicht wieder andere fliessende Brunnen in den tiefer liegenden Theilen der Stadt speist.

Viel bedeutender werden aber die Schwierigkeiten, wenn man in weiter Entfernung die Quellen suchen muss und wenn diejenigen, die sich nach ihrer Reichhaltigkeit und nach der Beschaffenheit des Wassers zur Speisung der Brunnen am meisten eignen, nur wenig höher als das Niveau der Stadt sind, oder sie wohl gar durch tiefe Terraineinschnitte davon getrennt werden. Endlich kann es aber auch geschehen, dass alle Quellen und Bäche umher die ganze Wassermenge, die man braucht, gar nicht enthalten, und es bleibt alsdann nur der Ausweg übrig, das Wasser aus dem tiefer liegenden Strome künstlich zu heben, und wenn dasselbe, wie gewöhnlich, nicht den nöthigen Grad von Reinheit besitzt, es noch zu klären und zu filtriren, bevor man es durch die Leitungen in der Stadt verbreitet. Das letzte Verfahren, welches schon lange bekannt und zur Speisung einzelner Leitungen benutzt war, hat man in neuerer Zeit auch zur Ver-

sorgung ganzer Städte gewählt, und es scheint, dass dasselbe bei Anwendung der vervollkommneten Maschinen, wie man sie heutiges Tages darstellen kann, die nöthige Wassermenge nicht nur ganz sicher liefert, sondern unter den gewöhnlichen Verhältnissen dieses auch mit einem geringeren Kostenaufwande leistet, als wenn man die Bäche und Quellen aus weiter Entfernung herbeiführen wollte.

In früheren Jahrhunderten konnte diese Methode wegen der mangelhaften Einrichtung und geringen Haltbarkeit der damaligen Maschinen keinen Eingang finden; dagegen wurden schon zur Zeit der römischen Republik und noch mehr unter den Kaisern, künstliche Leitungen von Bächen dargestellt, die noch heute an Grossartigkeit unübertroffen sind. Etwa dreihundert Jahre vor Christi Geburt legte Appius Claudius die erste Wasserleitung an, und als Nerva seine Regierung antrat, wurden, wie Frontinus angiebt, durch neun Leitungen schon über 27 Millionen Cubikfuss Wasser täglich nach Rom geführt, die in 1300 fliessenden Brunnen ausströmten. Aber die Anzahl der Leitungen vermehrte sich auch ferner, da namentlich die Einrichtung neuer Bäder das Bedürfniss immer mehr steigerte. So mögen später bis 50 *) Millionen Cubikfuss täglich nach Rom geführt worden sein, was bei der Anzahl der Einwohner, von etwa einer Million, eine so reichliche Versorgung mit Wasser giebt, wie die neuere Zeit nirgend etwas Aehnliches zeigt. Von diesen Anlagen sind einige in Wirksamkeit erhalten worden, und de Prony schätzte das Wasserquantum, welches die drei Leitungen Aqua Felice, Juliana und Paulina täglich nach Rom führen, noch auf mehr als 5 Millionen Cubikfuss.

Diese sämmtlichen Anlagen führten das Wasser nicht in Röhren, sondern in Canälen, die also ein stätiges Gefälle in der Richtung des fliessenden Wassers erhalten mussten. Ihre Ausdehnung beträgt häufig mehrere Meilen, und die Anlage gewann besonders in dem Falle eine grosse Wichtigkeit und gab zur Darstellung sehr imponirender Mauermassen und oft zu einer kühnen

*) Die vorstehenden Angaben sind entnommen aus W. Matthew's *Hydraulia, an historical account of the Water-Works of London and the contrivances for supplying other great cities in different ages and countries.* London 1835.

und reichen Architectur Veranlassung, sobald tiefere Thäler überschritten werden mussten. Man führte alsdann Bogenstellungen quer durch das Thal, die oft mehrfach übereinander standen, und auf solchen Unterbauen liess man den Canal mit geringem und gleichmässigem Gefälle fliessen. Es sind dieses die Bauwerke, denen man gemeinhin den Namen Aquäducte beilegt. Dass man durch Anwendung von Röhren diese Unterbaue hätte entbehren können, leidet keinen Zweifel, denn der starke Druck, der durch die Senkung der Röhrenleitung bis zur Sohle des Thales entsteht, treibt das Wasser in dem zweiten Schenkel der Röhre beinahe bis zu derselben Höhe wieder herauf. Man hat dieses Princip in neuerer Zeit verschiedentlich angewendet, z. B. bei der Soolenleitung zwischen Berchtesgaden und Illsang*), wo die Röhre an einer Stelle etwa um 200 Fuss ihr Niveau verändert. Bei Einrichtungen dieser Art ist jedoch die Benutzung gusseiserner Röhren nothwendig, und da solche im Alterthume nicht bekannt waren, so darf man sich nicht wundern, wenn zur Erreichung desselben Zweckes ein anderes, viel kostbareres Mittel gewählt wurde. Dazu kommt wahrscheinlich noch, dass man bei diesen Wasserleitungen, die ihrer Natur nach grossentheils sehr unscheinbar sind und oft ganz dem Auge entzogen werden, doch einige Werke absichtlich anbrachte, welche die Grossartigkeit des Unternehmens zeigten. Man braucht also nicht gerade vorauszusetzen, dass den damaligen Wasserbaumeistern das erste Gesetz der Hydrostatik ganz unbekannt gewesen sei, was man oft behauptet hat und was andrerseits von den Verehrern des Alterthums durch Aufzählung mancher Andeutungen in den alten Classikern bestritten wird.

Der Eifer für die Errichtung von Wasserleitungen beschränkte sich indessen keineswegs nur auf Rom, vielmehr finden sich fast in allen Ländern, die der römischen Herrschaft unterworfen waren, Ruinen von solchen Werken vor. In Constantinopel existiren mehrere Wasserleitungen, von denen einige ohne Zweifel aus jener Periode herrühren. Auf Mytilene, Salamis, sowie in Kleinasien bei Antiochia sind Reste von alten Wasserleitungen vorhanden,

*) Vergl. meine Beschreibung neuerer Wasserbauwerke. Königsberg 1826. S. 270.

letztere bestehen in einem Aquäducte von 200 Fuss Höhe; ferner bemerkt man solche bei Neapel und Pästum; der zu Castellana, der aus besonders früher Zeit herrührt, zeichnet sich auch durch seine Grösse aus, indem die Gesammthöhe des Baues in beiden Bogenstellungen bis 190 Fuss beträgt; bei Lyon, Metz, Nismes und bei Arcueil in der Nähe von Paris befanden sich alte Wasserleitungen und endlich kommen sie auch in Spanien namentlich bei Sevilla und Segovia vor, und besonders wichtig ist die bei Lissabon, die sich mehr als 200 Fuss hoch über die Thalsohle erhebt und von Trajan herrührt.

Als Beispiel eines antiken Aquäducts ist Taf. V. Fig. 65 *a* und *b*, ein Theil der Seitenansicht und das Querprofil des bei Nismes befindlichen Aqueduc du Gard dargestellt. *) Derselbe wurde entweder unter Augustus oder doch nicht viel später erbaut, und führte die Quellen von Usez nach Nismes über das Thal des Gardon d'Alais. Er besteht, wie die Figuren zeigen, aus drei Bogenstellungen übereinander, die Spannung der beiden untern Bogenreihen beträgt 55 bis 77 Fuss, die der obern 17½ Fuss; die Höhe über dem Wasserspiegel des Gardon misst etwa 160 Fuss. Die ganze Länge des Aquäducts lässt sich nicht mehr genau angeben, indem ein grosser Theil der obern Bögen nebst zugehörigen Pfeilern eingestürzt ist. Die sämmtlichen Bögen sind in vollem Halbkreise ausgeführt; die untere Reihe enthält deren 6, die zweite 10, von der obern existiren noch 37. Neben der untern Arkade ist im Jahre 1740 eine Brücke aufgeführt, deren Erbauer Pitot ist. Der Canal, in welchem das Wasser floss, ist, wie Fig. 66 zeigt, 4½ Fuss breit und 5 Fuss tief; breite Steinplatten bedecken ihn. Man bemerkt darin einen starken Ansatz von Kalksinter, wie solcher sich häufig in den alten Wasserleitungen vorfindet.

Aehnliche Anlagen wurden auch späterhin und selbst bis gegen die neueste Zeit ausgeführt. Theodorich erbaute um's Jahr 740 den Aquäduct bei Spoleto, der an Höhe und Kühnheit alle

*) Die Seitenansicht ist entnommen aus: *Traité de la construction des ponts par Gauthey, Paris* 1809. *Tom. I.*, woselbst mehrere der erwähnten Aquäducte dargestellt sind. Das Profil ist aber aus dem bereits citirten Werke von Génieys entlehnt.

älteren übertraf; 10 gothische Bögen von 68 Fuss Spannung bilden den Unterbau und darüber trägt eine Reihe von 30 kleineren Bögen den Canal; nach der Zeichnung, die Gauthey davon mittheilt, misst die Höhe des Aquäducts über dem Wasserspiegel des Moragia 410 Fuss. Besonders in Frankreich entstanden in den letzten Jahrhunderten noch eine grosse Anzahl solcher Bauwerke: so 1558 der bei Arles über den Crau. 1624 wurde neben den Ruinen des alten Aquäducts bei Arcueil ohnfern Paris unter Maria von Medicis ein neuer gebaut. Im 17. Jahrhunderte erbaute man neben Versailles die Aquäducte von Marly und Buc, und es wurde der colossale Aquäduct Maintenon begonnen, der 132 Ruthen lang und 240 Fuss hoch werden sollte. Nach wenigen Jahren gab man aber wegen der enormen Kosten den letzten Bau auf. Nur wenige Bögen der untern Reihe sind ausgeführt, während drei derselben übereinander stehen sollten. Endlich muss noch der Aquäduct bei Montpellier erwähnt werden, den Pitot ausführte.

Bei den Wasserleitungen dieser Art ist in hydrotechnischer Beziehung wenig zu bemerken. Um auf dieselben später nicht mehr zurückkommen zu dürfen, will ich als Beispiel einer solchen Anlage eine kurze Beschreibung der Leitung von Arcueil hier folgen lassen; dieselbe dient noch heute zur Versorgung eines Theiles von Paris mit Wasser. Durch grabenförmige Einschnitte, die an den Bergseiten mit trocknen Mauern eingefasst und oben mit Steinplatten überdeckt sind, wird in den Ländereien der Gemeinden Rungis, Paret und Coutin, etwa drei Lieues südlich von Paris, das Wasser gesammelt und dann in einer überwölbten Leitung von 7000 Toisen (3625 Ruthen) Länge nach dem Reservoir an der Porte St. Jaques zu Paris geführt. Dieser Canal hat überall ein gleichmässiges Gefälle, nämlich 6 Zoll auf 200 Toisen Länge, oder 1 : 2400, und er verlässt oft sehr merklich die gerade Richtung, um diejenige Terrainhöhe zu verfolgen, wo er mit den geringsten Kosten und mit der grössten Sicherheit angelegt werden konnte. Er liegt beinahe auf seiner ganzen Länge so tief, dass die Felder darüber bebaut werden können, und in gewissen Abständen sind runde massive Thürmchen aufgeführt, welche einen Zugang zu ihm gestatten und den Luftwechsel befördern. Der wichtigste Punkt der Leitung ist der Uebergang über den Bievrebach in der Nähe des Schlosses Arcueil. Der neue Aquäduct

daselbst, dessen Seitenansicht Fig. 67 zeigt, schneidet das Thal rechtwinklig und an einer Stelle, wo es besonders schmal ist; er ist 1240 Fuss lang, in der Mitte 74 Fuss hoch und unten 12 Fuss breit, doch treten die Strebepfeiler zu beiden Seiten noch um einige Fuss weiter vor. Die Anzahl der Bogenöffnungen beträgt 10, davon ist eine aber nur halb so breit, als die übrigen. Der Querschnitt der Gallerie, worin sich der Canal befindet, und zwar über dem Aquäducte, ist Fig. 68 dargestellt; der Canal selbst ist 1½ Fuss breit und 1 Fuss tief, ein 2 Fuss breites Banket zieht sich auf der südwestlichen Seite derselben fort, und die Höhe des Gewölbes erlaubt es, dass man hier sehr bequem gehen und die von Zeit zu Zeit erforderlichen Reparaturen und Reinigungen des Canals vornehmen kann. In den unterirdischen Strecken, die wahrscheinlich älter sind, verändert sich einigermaassen das Profil, statt des einen Banketts sind zwei angebracht, jedes von 18 Zoll Breite, auch die Höhe der Gallerie vermindert sich, jedoch beträgt sie immer noch 5 bis 6 Fuss und nur unter einigen Strassen war man gezwungen die Höhe noch mehr zu beschränken. Das Gewölbe und die freistehenden Seitenmauern sind aus Hausteinen, die überschütteten Mauern aus Bruchsteinen aufgeführt, und der Canal hat am Boden und an den Seitenwänden einen etwa ½ Zoll starken Ueberzug von hydraulischem Mörtel erhalten. Die Quantität des zugeführten Wassers bestimmte Girard durchschnittlich auf 50 Wasserzoll; die Erklärung dieses Maasses wird im Folgenden gegeben werden.

Als eine eigenthümliche Anlage muss die Wasserleitung bei Genua, genannt delle Arcate, erwähnt werden; sie bildet den Uebergang zwischen den eben beschriebenen Aquäducten und solchen Röhrenleitungen, die man bis zur Thalsohle senkt. Auf dem Hügel Molassana, ohnfern des Geivatoflusses, wird das Quellwasser in einem Reservoir gesammelt und dieses speist eine gusseiserne Röhrenleitung von 1 Fuss Durchmesser, die theils auf dem natürlichen Abhange ruht und theils auf einer 430 Fuss langen Untermauerung mit neun Bogenöffnungen bis zum alten Aquäducte herabsteigt; der Aquäduct ist auf 350 Fuss Länge mit acht Bogenöffnungen horizontal und etwa 60 Fuss über dem Wasserspiegel geführt worden, dann hebt er sich auf der andern Seite mit sechs Bogenöffnungen auf 300 Fuss Länge, und hier

gewinnt die Röhrenleitung wieder das hohe Ufer, genannt del Pino, wo sie wieder in einem Reservoir ausmündet und weiterhin durch eine offene Leitung ersetzt wird. Der unterste oder der mittlere Theil des Röhrenstranges liegt 159 Fuss unter dem Reservoir, das die Röhre speist, und 135 Fuss unter demjenigen, in welches sie ausmündet; das ganze Gefälle beträgt also 24 Fuss, während die Länge der Röhrenleitung 2100 Fuss misst. Die beschriebene Einrichtung wurde der Wasserleitung im Jahre 1782 gegeben, während seit 1293 ein Aquäduct nach dem älteren Princip an derselben Stelle existirte. *)

Zur Herbeiführung des Wassers nach Constantinopel sind schon seit langer Zeit Röhren angewendet worden, die häufig unter einem bedeutenden Drucke wirken. Auf eine ganz eigenthümliche Weise hat man hier aber die Leitung abwechselnd immer unterbrochen und das Wasser mit der Luft in Berührung gebracht; um indessen dabei nicht den Vortheil der Druckhöhe zu verlieren, so war es nöthig, die offenen Bassins immer in der angemessenen Höhe anzulegen. Auf solche Art sind beim Durchgange durch Thäler und bei sonstigen vorkommenden Vertiefungen in Abständen von etwa 600 Fuss isolirte Pfeiler errichtet, in welchen das Wasser von der einen Seite in Bleiröhren aufsteigt und sich von da in die Bassins auf dem Scheitel der Pfeiler ergiesst; auf der andern Seite fällt es wieder in Bleiröhren nach der Röhrenleitung in der Thalsohle zurück. Es ist dabei aber noch zu erwähnen, dass auf dem höhern Terrain die Leitung nicht in Röhren, sondern in offenen Gerinnen geschieht und dass die Röhren an der Thalsohle aus gebranntem Thon bestehen. Der Zweck dieser auffallenden Anordnung scheint eines Theils der zu sein, dass man bei vorkommenden Beschädigungen die schadhafte Stelle um so sicherer erkennt, theils aber vertreten die Bassins auf diesen Pfeilern, die man in der Türkei Suterazzi nennt, auch die Stelle von Luftspunden oder Luftröhren, die freilich nach dem, was im Folgenden darüber gesagt werden soll, sich auf andere Art viel einfacher einrichten lassen.

*) Vergl. das bereits erwähnte Werk von Génieys, *Essai de conduire etc.*

Weit unscheinbarer als die erwähnten Einrichtungen sind die Leitungen, welche manche norddeutsche Städte mit Wasser versorgen, und namentlich finden sich solche in der Provinz Preussen mehrfach vor. Man pflegt dieselben in dortiger Gegend sämmtlich dem berühmten Copernicus zuzuschreiben. Bei Frauenburg, wo Copernicus Domherr war, ist das Flüsschen, die Baude, etwa drei Viertel Meilen oberhalb ihrer Mündung in das Frische Haff abgefangen und in einem Canale längs dem flachen Abhange ihres Thalrandes nach der Stadt geleitet worden. Hier durchfliesst sie die Hauptstrasse des Städtchens und treibt unter dem Hügel, worauf der Dom steht, eine Mahlmühle. Daneben befand sich in früherer Zeit noch ein Pumpwerk, das, gleichfalls von ihr getrieben, einen Theil ihres klaren Wassers auf den Domhof hob. Der massive Thurm, der die Wasserkunst einst enthielt, steht noch da, doch die Maschine ist längst bei einem Brande zerstört und seitdem nicht wieder hergestellt worden. Auf ganz ähnliche Art wird die Stadt Danzig mit trinkbarem Wasser versehen.

Besonders verdient aber eine nähere Beschreibung die weit ausgedehnte Leitung, welche Königsberg mit Wasser versorgt. Zwei Canäle, der Landgraben und der Wirrgraben genannt, führen das Wasser, das sich nordwestlich von Königsberg auf einem Flächenraume von etwa zwei Meilen sammelt, in ein weites Bassin am nördlichen Rande der Stadt. Dieser künstliche See, der Oberteich genannt, hat eine Ausdehnung von etwa 300 Morgen, er ist durch Schliessung eines Thales entstanden, doch erhebt sich das Wehr oder der Damm, der das Wasser vor sich aufstaut, nicht nur bis zur Höhe der natürlichen Thalufer, sondern sogar über dieselben, und seine Seitenflügel erstrecken sich aufwärts, um einen Stau bis über die Terrainhöhe zu gewinnen. So geschieht es, dass der Wasserspiegel des Sees höher liegt als jeder Theil von Königsberg; er befindet sich 70 Fuss über dem mittleren Stande des Pregels, und der Schlossteich, der innerhalb der Stadt einen zweiten künstlichen See in demselben Thale bildet und der sich bis nahe an den Fuss des ersten Dammes erstreckt, liegt 36 Fuss unter dem Oberteiche. Zwei Reihen von Mühlen, eine grosse Menge von Brunnen, die zum Theil fliessende Brunnen sind, und mehrere Springbrunnen werden durch diese Wasserleitung gespeist. Der letzte Theil der Anlage zeigt indessen nichts

besonders Bemerkenswerthes; wohl aber ist dieses der Fall mit den beiden oben erwähnten Speisegräben und namentlich mit dem einen derselben, welcher der Landgraben heisst. Dieser leitet nämlich drei grössere Bäche, die auf der Wasserscheide zwischen der Ostsee und dem Haffe oder dem Pregel entspringen, nach dem Oberteiche, und indem er sich am südlichen Abhange der Anhöhe hinzieht, musste er nach der Aufnahme des ersten Baches noch die Thäler der beiden folgenden passiren. Es trat also hier dieselbe Schwierigkeit ein, deren oben Erwähnung geschehen ist, und die Art, wie sie hier überwunden, ist von den bezeichneten Methoden wesentlich verschieden; es sind nämlich die Thäler dicht unterhalb des Landgrabens durch einen Damm geschlossen, so dass der Bach, der sie bildete, sich davor so weit aufstaut oder zu grossen Teichen ausdehnt, bis er hoch genug angeschwollen ist, um in der Fortsetzung des Landgrabens seinen Lauf nach Königsberg nehmen zu können. Diese Teiche sind niemals Mühlenteiche, wohl aber treiben die Bäche weiter oberhalb oder unterhalb verschiedene Mühlen, und in den erwähnten Dämmen befinden sich Freiarchen, um bei starken Anschwellungen ein Ueberströmen und sonach ein Durchbrechen der Dämme zu verhindern. Es gewährt diese Methode sonach den Vortheil, dass sie nicht nur die Ausführung der so kostbaren Aquäducte entbehrlich macht, sondern sie erlaubt es auch, die Wassermenge von allen Bächen mit aufzunehmen, welche die Leitung durchschneidet; dabei werden freilich sehr bedeutende Flächen Landes der Cultur entzogen und man würde deshalb heut zu Tage bei einer ähnlichen Anlage von diesem Mittel wohl nie Gebrauch machen können. Endlich muss ich noch erwähnen, dass der Graben mit sorgfältiger Beachtung der Terrainhöhe so gezogen ist, dass er auf der südlichen Seite mit einer niedrigen Verwallung eingefasst ist. Seine mittlere Breite mag etwa 18 Fuss messen und seine Tiefe 2 Fuss; die Geschwindigkeit der Strömung beträgt ungefähr 9 Zoll in der Secunde.

Solche offene, im natürlichen Boden eingeschnittene Speisegräben sind an sich so einfach, dass ihre Anlage keiner näheren Beschreibung bedarf; es wird aber bei Gelegenheit der Schifffahrtscanäle davon die Rede sein, wie man die Ausführung der Erdarbeiten anzuordnen und welche Vorsichtsmaassregeln man zu

beachten hat, um ein Durchsickern des Wassers durch den Boden und die Canalteiche möglichst zu vermeiden. Es tritt indessen hierbei der besondere Umstand ein, dass die Reinhaltung des Wassers noch eine Hauptbedingung wird; um zu zeigen, wie man für diese sorgen kann, will ich die Beschreibung der New-River Leitung bei London folgen lassen.

Als London nach und nach an Ausdehnung sehr gewonnen hatte und wegen der engeren Bebauung des alten Theiles der Stadt die Brunnen ihre frühere Ergiebigkeit verloren, und die kleineren Pumpwerke, die namentlich an der alten Londonbrücke existirten, sich als ganz unzulänglich zeigten, da trat 1606 und 1607 eine Actiengesellschaft zusammen, um die Flüsschen Chadwell und Amwell in Hertfordshire nach London zu leiten und deren Wasser daselbst zu vertheilen. Das Vertrauen zu Unternehmungen dieser Art war indessen damals noch so geringe, dass nur das Anerbieten eines gewissen Hugh Myddelton, die ganze Anlage auf eigne Gefahr und Kosten auszuführen, einen endlichen Angriff der Arbeiten bewirkte. Die Kosten waren aber viel höher, als dieser unternehmende Mann erwartet hatte, sein Vermögen war bald erschöpft und das ganze Werk schien wieder aufgegeben zu werden, da die Communalbehörden jeden Beistand versagten. Da trat der König Jacob I. ins Mittel und bewilligte die fehlenden Gelder; mit neuem Eifer wurden die Arbeiten begonnen und am 29. Septbr. 1613 füllten sich zur allgemeinen Verwunderung und Freude der Einwohner die Reservoire im New-River Head im Kirchspiel Clerkenwill. Jetzt erst, nachdem der Erfolg gesichert war, trat die Gesellschaft zusammen und im Jahre 1619 wurde sie gesetzlich bestätigt. Die aufgefangenen Quellen sind in gerader Linie nur 20 engl. Meilen von London entfernt, die Länge des Canals beträgt aber 38¾ engl. oder 8¼ preuss. Meilen, indem die Unebenheit des Terrains vielfache Krümmungen nothwendig machte. Die Breite des Canals ist durchschnittlich 18 Fuss und die Tiefe sollte 5 Fuss messen. Das Gefälle beträgt 3 Zoll auf die engl. Meile oder 1 : 21120. Unter den ausgeführten Werken befanden sich auch mehrere Brückencanäle, die aber, da sie nur aus Holz erbaut und durch eine Ausfütterung mit Bleiplatten gedichtet waren, bald schadhaft wurden, und die man nach und nach durch massive Durchlässe ersetzte, die auf einer Erdanschüttung den

Canal trugen; letzterer wurde in der Sohle und der innern Dossirung mittelst eines Thonschlages wasserdicht gemacht. Die erwähnten beiden Flüsschen genügten indessen bald nicht mehr für die immer grössere Ausdehnung der Leitungen in London, und da der Leafluss unmittelbar neben dem Canale oder dem New-River ausströmte, so wurde auch dieser zur Speisung des letzteren benutzt und grosse Wassermengen demselben zum Vortheil der Wasserleitung entzogen. Dieses Verfahren hatte man mehrere Jahre hindurch schon angewendet, als die Lea-Schifffahrtsgesellschaft darüber Klage erhob. Nach langen Debatten wurde endlich ums Jahr 1738 die Berechtigung zur Entnehmung gewisser Wassermassen aus dem Lea durch einen Beschluss des Parlaments festgestellt; es war die Grösse der Abzugsöffnungen darin genau bezeichnet und die jährliche Entschädigung an die Schifffahrtsgesellschaft bestimmt. Doch erst im Jahre 1770 wurden die gesetzlich angeordneten Oeffnungen solide dargestellt und zwar in weissem Marmor.

Um nun das Wasser in dem New-River rein zu erhalten, hatte die Gesellschaft schon lange durch eine Bill das Verbot ausgewirkt, dass niemand Steine, Erde, Schmutz, todte Thiere oder thierische Stoffe, noch sonst irgend welche nachtheilige Körper hineinwerfen, ferner dass niemand Wolle, Hanf, Flachs oder irgend welche ungesunde oder unreine Stoffe darin waschen, und endlich, dass niemand die Anlage beschädigen oder ohne besondere Erlaubniss daraus Wasser entnehmen sollte. Einen sehr grossen Uebelstand verursachte der Reiz, in dem klaren und frischen Wasser des New-River zu baden; um dieses abzustellen, erbot sich die Gesellschaft, zu Freibädern das Wasser unentgeldlich zu liefern, falls die Stadt London die Kosten für die Einrichtung derselben übernähme. Der Vorschlag fand indessen nicht Eingang und sonach dauert dieser Missbrauch fort; die Gesellschaft lässt freilich durch ihr Aufsichtspersonal das Baden möglichst verhindern, wenn aber jemand betroffen wird, so kann er nicht bestraft werden, denn der einzige Rechtstitel, der eine Klage begründen würde, wäre der Einbruch in fremdes Eigenthum, und da hierauf Deportation steht, so wird durch Billigkeitsrücksichten jede weitere Verfolgung abgeschnitten. Auf jede vier Meilen Länge des Canals ist ein Aufseher angestellt, der namentlich darauf

achten muss, dass die benannten Bestimmungen in Bezug auf die Reinhaltung des Wassers nicht übertreten werden. Das Unkraut wird regelmässig im Canale geschnitten, und um alle schwimmenden Körper aufzufangen, sind stellenweise Drahtnetze durchgezogen, die aber jedesmal in einer Erweiterung des Bettes liegen, damit hier die Geschwindigkeit sich mässigt und sonach die Körper um so sicherer aufgefangen werden. An diesen Stellen schlägt sich auch vorzugsweise der im Wasser schwebende Schlamm nieder und daher wird hier vierteljährig eine Reinigung vorgenommen.

Es bleibt noch übrig, von denjenigen Wasserleitungen zu sprechen, welche nicht durch hochgelegene Quellen oder Bäche, sondern mittelst Pumpwerken aus Strömen gespeist werden. Die Anlagen dieser Art sind am wenigsten von günstigen Localverhältnissen abhängig; sie lassen sich überall ausführen und sie gestatten auch jede beliebige Ausdehnung, indem die Wassermenge, die man vertheilen will, jedesmal disponibel ist, und es nur darauf ankommt, die Schöpfmaschinen darnach einzurichten. Die Kostbarkeit der Maschinen, sowohl in Rücksicht auf die erste Anlage, als deren Unterhaltung, setzt indessen dieser Methode oft unübersteigliche Hindernisse entgegen, und dazu kommt häufig noch die Besorgniss, dass Beschädigungen sich dabei oft wiederholen und daher der Dienst der Leitung häufige Unterbrechungen erfahren möchte. Gewiss ist es, dass bei schlechten Maschinen diese Besorgniss sehr begründet ist, und daher hat man in früherer Zeit auch oft Bedenken getragen, hiervon Anwendung zu machen; die grosse Vollkommenheit, die man gegenwärtig den Maschinen geben kann, vermindert indessen so sehr die Wahrscheinlichkeit einer möglichen Stockung, dass man dieselbe und vielleicht noch eine grössere Sicherheit erreicht, als wenn das Wasser sich mit seinem natürlichen Gefälle bewegte. Es giebt in der That auch viele andere Anlagen, welche allein auf den regelmässigen Gang von Maschinen basirt sind; so die meisten grösseren Fabrikanlagen und in noch höherem Grade viele Bergwerke, wo nicht nur der Betrieb unterbrochen, sondern auch die Arbeit gefährlich werden würde, wenn die Wasserhebungsmaschinen wirklich so ungewiss in ihrer Wirkung wären und so häufig den Dienst versagten, als dieses von Personen, die mit der Sache unbekannt sind, gewöhnlich behauptet wird. Wenn es überdies einer beson-

deren Erfahrung für die Zulässigkeit von Wasserhebungsmaschinen zur Speisung der Brunnen und dergleichen bedürfte, so fehlt diese keineswegs mehr; die Wasserleitungen von London werden gegenwärtig grösstentheils auf diese Weise versehen. Schon im Jahre 1724 wurden die Chelsea Water-Works unterhalb London eingerichtet, die durch Dampfmaschinen gespeist werden, doch die meisten übrigen Leitungen entstanden erst in diesem Jahrhunderte. Hierher gehört die West-Middlesex Water-Works, die bei Hammersmith das Wasser aus der Themse schöpft; die Grand Junction-Company musste sich wegen der Unbrauchbarkeit des Wassers des Brent und Colne-Flusses, die den Grand Junction-Canal speisen, endlich entschliessen, gleichfalls aus der Themse und zwar in der Nähe von Chelsea zu schöpfen. Die Southwark Water-Works heben in London selbst das Wasser aus der Themse, ebenso die Lambeth Water-Works und South London Water-Works. Nur die unter dem Namen des New-River bekannte Leitung, von der bereits die Rede war, führt Quellwasser mit dem natürlichen Gefälle nach London; dieses war indessen für die eingetretene Ausdehnung der Leitung auch nicht mehr hinreichend. Es musste eine Dampfmaschine noch gebaut werden, um auch die höheren Theile der Stadt versorgen zu können, und ausserdem sah man sich gezwungen, noch sehr kräftige Dampfmaschinen in Bereitschaft zu halten, welche man zur Füllung des Bassins benutzt, falls der New-River bei anhaltendem Froste seine Zuflüsse verliert, oder eine Sperrung und Trockenlegung desselben wegen vorzunehmender Reparaturen oder Reinigungen nothwendig wird. *)

Andere Städte Grossbritanniens, und namentlich Manchester und Glasgow, werden ausschliesslich durch Wasserhebungsmaschinen versehen. Dasselbe Princip ist grossentheils auch in Nord-Amerika eingeführt, und besonders interessant ist hier die Wasserleitung von Philadelphia; etwa $1\frac{1}{2}$ engl. Meilen oberhalb der Stadt bei Fairmount liegen am Shuylkill die Wasserwerke; sie wurden in den Jahren 1819 bis 1822 erbaut. Unter einem Winkel von etwa 45 Graden ist ein hölzernes Wehr von 1600 Fuss Länge und bis 24 Fuss Höhe zur Anspannung des Wassers durch den Fluss geführt. Der dadurch erzeugte Stau beträgt 12 Fuss und die

*) Vergl. Matthew's *Hydraulia*.

Stauweite erstreckt sich 6 engl. Meilen aufwärts; auf der rechten Seite des Wehres und beinahe parallel mit demselben zieht sich der Schifffahrtscanal hin, der zwei Schleusen enthält; auf der linken dagegen, wo das Wehr nach dem Ufer hin convergirt, befinden sich die Wasserräder und Pumpenwerke. Hier sind Gerinne für acht Räder eingerichtet, doch waren 1837 erst 6 derselben aufgestellt; die Räder haben eine Breite von 15 Fuss und eine Höhe von 16 Fuss und treiben jedes eine Druckpumpe. Da die Fluth bis an das Wehr sich erstreckt und hier zur Zeit der Springfluthen den Wasserspiegel noch um 6 Fuss hebt, so können die Werke nicht fortdauernd im Betriebe erhalten werden und durchschnittlich müssen sie in jedem Monate während 64 Stunden ausser Thätigkeit gesetzt werden. Jede Pumpe ist mit einer besonderen Steigröhre aus Gusseisen von 16 Zoll Durchmesser versehen, die das Wasser 92 engl. Fuss oder 90 preuss. Fuss hoch hebt und es in die Reservoire ausgiesst. Durchschnittlich liefert jede Pumpe täglich 530000 Gallons oder 78000 preuss. Cubikfuss, und man hat beobachtet, dass 30 Cubikfuss Aufschlagwasser einen Cubikfuss in die Reservoire heben. *) In ähnlicher Art wird Richmond in Virginien mit Wasser versehen; Pittsburg am Ohio enthält eine bedeutende Wasserleitung, welche eine Dampfmaschine von 84 Pferde Kraft speist; sie schöpft täglich 1500000 Gallons oder 220000 preuss. Cubikfuss 116 Fuss hoch aus dem Ohio. In Cincinnati am Ohio wurde 1820 eine Schöpfmaschine angelegt, die durch einen Pferdegöpel betrieben wurde, doch sehr bald ersetzte man letzteren durch eine Dampfmaschine, die nun täglich 1730000 Gallons oder 255000 Cubikfuss 160 Fuss hoch hebt.

Auch in Frankreich werden die Wasserleitungen häufig durch Pumpwerke aus Flüssen gespeist. Zunächst muss hier die berühmte Maschine bei Marly erwähnt werden, die an Steighöhe alle übrigen übertrifft, wenn man nicht etwa die Soolenleitung bei Berchtesgaden damit in Parallele stellen will. Vierzehn Wasserräder hoben in früherer Zeit in drei Absätzen das Wasser auf die Wasserleitung bei Marly; jedes Rad trieb 1) die Säuge- und

*) *David Stevenson, sketch of the civil engineering of North-America.* London 1838.

Druckpumpen, die das Wasser in das 100 Toisen entfernte Reservoir auf 150 Fuss hoben; 2) das Gestänge, welches hier die zweite Druckpumpe bewegte, die das zweite Reservoir füllte; dasselbe lag 224 Toisen davon entfernt und 175 Fuss höher, und endlich 3) die Fortsetzung des Gestänges, die hier eine dritte Pumpe trieb, und diese hob das Wasser um 177 Fuss nach dem 290 Toisen entfernten Aquäducte. Die ganze Länge der Steigröhren betrug demnach 614 Toisen oder 3813 preuss. Fuss und das Wasser wurde gehoben um 502 pariser oder 520 preussische Fuss. *) Diese Maschine wurde 1682 in Thätigkeit gesetzt, die vielfachen Reparaturen, die hierbei vorkamen, waren indessen Veranlassung, dass man bei der zunehmenden Vervollkommnung des Maschinenbaues auch vielfache Aenderungen und Vereinfachungen einführte; 1823 waren fünf Wasserräder gänzlich beseitigt, und von den übrigbleibenden neun, die zwar sauber ausgeführt, jedoch nur sehr unvollkommen angeordnet waren, befanden sich nur zwei in regelmässigem Betriebe. Die hölzernen Röhren waren damals durch eiserne ersetzt worden und die Gestänge und Pumpen auf dem Ufer existirten nicht mehr. Die Pumpen hoben mit einem Male das Wasser auf die ganze Höhe von 520 Fuss, und so aufmerksam ich auch die Röhrenleitung am Fusse des Ufers untersuchte, konnte ich keinen Leck, auch nirgend eine Stelle entdecken, wo das Wasser durchgeschwitzt wäre; die ganz freiliegenden Röhren zeigten sich vollkommen trocken. Man baute damals das Gebäude für eine Dampfmaschine, welche die Wasserräder ersetzen sollte.

In Paris selbst existiren schon seit langer Zeit einige Pumpwerke, welche durch die Seine getrieben werden und welche das Wasser der Seine in die nächste Umgebung leiten. Dieses ist das Werk auf Pont Neuf, gewöhnlich nach einer Sculptur am fliessenden Brunnen die Samaritanerin genannt, und ebenso ein anderes Werk auf Pont Notre Dame. Beide beschreibt Bélidor. Späterhin sind manche andere Anlagen hinzugekommen, die zum Theil mit keinen ausgedehnten Leitungen in Verbindung stehen, und von denen das gehobene Wasser, nachdem es gereinigt ist, in Gefässe gefüllt und verkauft wird. Besonders wichtig sind

*) *Bélidor, architecture hydraulique. Vol. II.* Paris 1782.

aber die Dampfmaschinen Chaillot und Gros-Caillou, welche am rechten und linken Seineufer kurz vor deren Austritt aus Paris das Wasser heben und grosse Theile der Stadt damit versorgen. Die erste, bestehend aus zwei sehr grossen Maschinen nach dem älteren Wattschen-Principe, hebt das Wasser 118 Fuss hoch in die ausgedehnten Reservoire auf der Anhöhe hinter den Elyseischen Feldern neben dem Thore Barrière des réservoirs. Die Maschine Gros-Caillou am linken Seineufer ist viel unbedeutender, und sie giesst das gehobene Wasser in ein kleines Bassin aus, welches etwa 100 Fuss über dem Spiegel der Seine in einem Thurme auf dem Maschinengebäude selbst angebracht ist. *) Der grösste Theil von Paris wird freilich durch den Ourcq-Canal gespeist, von dem späterhin bei Gelegenheit der Schifffahrtscanäle ausführlich die Rede sein wird; aber die Ausführung desselben, die unter Napoleon begonnen wurde, war mit solchen nicht geahneten Schwierigkeiten jeder Art verbunden, dass die gänzliche Vollendung erst nach einem Viertel-Jahrhunderte erfolgte, oder eigentlich auch jetzt noch nicht eingetreten ist. Dass die Kosten sich dabei viel höher steigerten, als man erwartet hatte, bedarf kaum der Erwähnung, aber das Uebelste dabei ist, dass die gewonnene Wassermenge statt 13500 Wasserzolle wirklich nur 7000 beträgt. Sonach kann dieses Beispiel keineswegs zur Empfehlung dieser Methode dienen, und Génieys hat gewiss recht, wenn er behauptet, dass man durch Anlage von Schöpfmaschinen und Filtrirapparaten weit schneller und wohlfeiler und vollständiger den Zweck erreicht haben würde.

Man hat bei Wasserleitungen, die in der neueren Zeit in Frankreich ausgeführt sind, auch vorzugsweise die Speisung durch Pumpwerke gewählt; so wird zu Béziers durch eine Dampfmaschine das Wasser aus dem Orb-Flusse 217 Fuss hoch gehoben und es fliesst in der Entfernung von 362 Fuss in einem kleinen Bassin aus, das auf dem Scheitel eines 18 Fuss hohen Pfeilers unmittelbar am Rande des hohen Ufers angebracht ist. Es fällt von hier sogleich wieder zum Fusse des erwähnten Pfeilers herab und ergiesst sich dann beinahe in derselben Höhe und in 217 Fuss Entfernung in dem Hauptbassin auf dem Platze

*) Vergl. meine Beschreibung neuerer Wasserbauwerke.

St. Louis. Der Zweck des Pfeilers scheint ähnlich, wie bei den oben erwähnten Suterazzi in der Türkei, nur der zu sein, um der Luft einen Ausweg zu gestatten, welche in den horizontalen Strecken der Bewegung des Wassers sehr hinderlich sein würde. Das geförderte Wasser beträgt hier nur 18 Zoll oder 465 Cubikfuss in der Stunde, und zwar ist der Unternehmer nur verpflichtet worden, die Maschine während 14 Stunden an jedem Tage im Gange zu erhalten. *)

Viel wichtiger als diese Anlage ist die gleichfalls vor wenigen Jahren eingerichtete Wasserleitung, die in Toulouse das Wasser der Garonne verbreitet. Hier wird das Pumpenwerk durch Wasserräder bewegt und die ganze Anordnung ist in allen Theilen mit grosser Ueberlegung und Vorsicht getroffen worden, und sie hat nach der Mittheilung, die d'Aubuisson davon macht **), ihren Zweck vollständig erfüllt. Ich wähle daher die hier ausgeführte Wasserhebungsmaschine, um die Beschreibung einer solchen beispielsweise zu geben, und will das Historische über die Entstehung der ganzen Anlage kurz voranschicken. Ein Bürger aus Toulouse, Namens Ch. Lagane, vermachte der Stadt 50000 Francs, um dafür eine Wasserleitung anzulegen, die mit reinem und klarem Trinkwasser aus der Garonne gespeist würde; und zwar setzte er fest, dass dieses Capital beim Tode seiner Frau ausgezahlt werden sollte, dass es aber zehn Jahre später an seine Erben wieder zurückgezahlt werden müsste, falls die ganze Anlage dann nicht fertig sein würde. Im Jahre 1817 nahm die Commun beim Tode der Frau die Erbschaft in Empfang, und da die Summe für das Bedürfniss augenscheinlich lange nicht genügte, so entschloss sie sich, den bei weitem grösseren Theil der Kosten selbst zu tragen und die Verhandlungen über die zweckmässigste Einrichtung nahmen noch in demselben Jahre ihren Anfang. Zunächst entstand die Frage, ob man das Wasser aus der Garonne neben der Stadt durch Pumpwerke heben, oder es vielleicht von oberhalb durch künstliche Canäle mit Benutzung des natürlichen Gefälles herbeiführen sollte, wobei auch auf andere Quellen Rücksicht genommen

*) *Maffre Mémoire sur l'approvisionnement d'eau de Béziers* in den *Annales des ponts et chaussées.* 1831. II.

**) *Histoire de l'établissement des fontaines à Toulouse* in den *Annales des ponts et chaussées.* 1838. II.

wurde. Die meisten Stimmen des Stadtrathes waren für das letzte Project und zwar aus dem Grunde, weil man meinte, dass die Maschinen häufig ihren Dienst versagen würden; d'Aubuisson wusste indessen durch Aufführung von Beispielen an anderen Maschinen diese Zweifel zu beseitigen und man entschied sich für Pumpenwerke; es wurde jedoch bestimmt, dass deren zwei und zwar ganz unabhängig von einander eingerichtet werden sollten, damit bei zufälligen Beschädigungen doch immer eines im Gange erhalten werden konnte. Was die Wahl der Betriebskraft betrifft, so entschied man sich mit gutem Grunde für die Wasserkraft, da diese hier vorhanden war und sogar zwei Stauwerke neben der Stadt hinter einander existirten, die man benutzen konnte, während die Kosten für die Beschaffung der Feuerung bei einer Dampfmaschine sehr ansehnlich gewesen wären. Endlich wurde noch die Quantität des zu hebenden Wassers ermittelt und diese auf 200 Wasserzoll, d. h. auf 124000 preuss. Cubikfuss in 24 Stunden festgestellt; diese Wassermasse musste aber 20 Meter oder 63¾ preuss. Fuss hoch gehoben werden, damit alle Theile der Stadt gehörig gespeist werden konnten. Nachdem diese Hauptbedingungen festgestellt waren, wurde der Weg der Concurrenz eröffnet und dem Verfasser desjenigen Projects, welches gewählt werden würde, die Ausführung der Arbeit und eine Vergütung von 5 Procent der wirklichen Anlagekosten zugesichert. Es gingen mehrere Projecte ein, die indessen wenig beachtungswerth waren; nur eines darunter zeichnete sich durch sorgfältige Bearbeitung und eine sehr zweckmässige und dem neueren Zustande des Maschinenbaues entsprechende Anordnung der ganzen Anlage aus; es war von dem in Toulouse wohnenden Maschinenbauer Abadie aufgestellt. Für dieses entschied sich die Commun und das Ministerium bestätigte dasselbe im Juni 1821, empfahl aber die Befolgung des Gutachtens, welches die oberste Baubehörde in Frankreich (*Conceil général des ponts et chaussées*) darüber abgegeben hatte und welches manche Vorschläge zu Abänderungen enthielt. Ein Theil dieser Vorschläge wurde sehr bereitwillig angenommen, während die übrigen durch die von der Commun gewählten Ingénieure für die dortigen Localverhältnisse nicht für passend gefunden wurden; dagegen traten noch manche andere Abänderungen ein nach Maassgabe der näheren Untersuchung

des Terrains und sonstiger neuerer Erfahrungen. In der folgenden Beschreibung der Wasserhebungsmaschine, wie sie wirklich zur Ausführung gekommen ist, übergehe ich den Filtrirapparat, wovon später die Rede sein wird.

Von den beiden Stauanlagen, die neben der Stadt vorhanden waren, wählte man zum Betriebe des Werkes die untere und zwar theils wegen der grösseren Festigkeit des daselbst liegenden Wehrs und theils wegen der grösseren Räumlichkeit, wozu noch kam, dass man hier dem Angriffe des Stromes nicht ausgesetzt war; diese Vortheile waren überwiegend gegen die, welche das obere Wehr geboten hätte; letztere bestanden aber in der bedeutend grösseren Nähe am Hauptheile und zugleich dem höchsten Theile der Stadt und in der Gewinnung des oberen Staues für die Steighöhe. So wurde die Maschine dicht oberhalb der steinernen Brücke und zwar an das linke Ufer der Garonne gestellt, während Toulouse grösstentheils am rechten Ufer liegt. Das Wasser zum Betriebe der Maschine wird durch einen überwölbten Canal von $7\frac{1}{2}$ Fuss Breite, $5\frac{1}{2}$ Fuss Höhe und 11 Ruthen Länge zugeführt, und es fliesst durch einen anderen Canal, der im Ganzen 297 Ruthen lang ist, nach der Rhone zurück; der nächste Theil desselben von 200 Ruthen Länge verfolgt die Strassen der Vorstadt St. Cyprien, er musste daher wieder überwölbt werden, seine Breite beträgt $6\frac{1}{2}$ Fuss und seine Höhe $5\frac{1}{2}$ Fuss. Seine Anlage war sehr schwierig, insofern seine Sohle oft mehr als 30 Fuss unter das Strassenpflaster traf. Der folgende Theil des Canals von 97 Ruthen Länge, der in freiem Felde befindlich ist, konnte als offener Graben dargestellt werden. Das ganze Gefälle zwischen der oberen und unteren Mündung des Canals beträgt zur Zeit des niedrigen Sommerwasserstandes 17 Fuss 5 Zoll und dieses ist folgendermaassen vertheilt: das nutzbare Mühlengefälle beträgt 9 Fuss 3 Zoll, das des Untergrabens 4 Fuss 9 Zoll, und die übrigbleibenden 3 Fuss 5 Zoll sind zum Betriebe einer Sägemühle vorbehalten, die neben der Ausmündung in die Garonne erbaut ist. Letztere muss bei vorkommenden Anschwellungen des Flusses ausser Betrieb gesetzt werden, dagegen geschieht es nur sehr selten, dass der Stau sich unter die Räder des Pumpenwerkes erstreckt und diese zu baden anfangen. Hierdurch hat man den Vortheil erreicht, dass das Hochwasser die Wirksamkeit der Maschine nicht beein-

trächtigt. Die Anordnung der Räder, Pumpen und Steigröhren ergiebt sich aus den Figuren 71, *a*, *b*, *c* und *d* auf Taf. VII., welche die Seitenansicht, den Durchschnitt und zwei Grundrisse des Gebäudes darstellen. Dieses Gebäude besteht aus einem runden Thurme, der unten von einer überwölbten Gallerie umgeben ist; in letzterer liegen die beiden Wasserräder mit ihren Gerinnen, ferner die Bassins, die acht Pumpen mit ihren Balanciers und überhaupt die ganze Maschinerie. Der Thurm enthält dagegen die Steigeröhren und Abfallröhren, sowie in seinem oberen Theile das kreisförmige Bassin, zu dem das Wasser gehoben wird und den Apparat zum Messen des Wassers. Bei *A* (Fig. 71, *c*) tritt das Betriebswasser in die erwähnte Gallerie hinein; zwei Canäle, die rechts und links abgehen, führen es nach den Kropfgerinnen der beiden Räder und ein dritter schmalerer Canal durchschneidet diametral das ganze Gebäude. Letzterer dient dazu, der unterhalb belegenen Sägemühle den nöthigen Wasserzufluss zu sichern, falls wegen vorzunehmenden Reparaturen, oder aus anderen Gründen nur eine der beiden Wasserhebungsmaschinen benutzt wird und sonach das eine Gerinne geschlossen bleibt. Dicht unterhalb des Gebäudes bei *B* vereinigen sich wieder die drei Gerinne und bilden gemeinschaftlich den überwölbten Untercanal. Das gereinigte Wasser, welches durch die Pumpen gehoben werden soll, tritt bei *C* in das Gebäude und fliesst in dem gemauerten Canale quer unter den drei Canälen, die hier noch Oberwasser enthalten und daher erhöht liegen bis gegen die äussere Umfassungsmauer bei *D*; es fällt durch vier Verbindungsröhren in eine gleiche Anzahl von Bassins *E*. Letztere stehen durch andere Röhren wieder mit den Untercanälen in Verbindung und man kann durch acht Ventile jedes einzelne derselben beliebig mit filtrirtem Wasser füllen, oder es trocken legen. In jedem der beiden Gerinne hängt ein Wasserrad von 18½ Fuss Höhe und 4 Fuss Breite, welche die beiden, von einander ganz unabhängigen Maschinen treiben. Die Räder sind, mit Ausnahme der Schaufeln, aus Gusseisen construirt; es sind Kropfräder jedoch nach der Art der Strauberräder so gebaut, dass die Schaufeln auf der Stirne der beiden Kränze stehen, und diese Anordnung ist gewiss nicht nachtheilig, indem die Solidität der Räder es erlaubt, den Spielraum zwischen den Schaufeln und dem Gerinne sehr klein zu machen. Die gusseiserne Welle jedes

Rades ist an jedem Ende mit einer Scheibe und Krummzapfen versehen und diese treiben mittelst der Lenkstangen die Balanciers. Letztere sind 9 Fuss lang und tragen an jedem Ende Kreisbögen, an welche die Ketten sich auflegen, die die Pumpenstangen heben. Auf solche Art treibt jede Maschine vier Pumpen (in Fig. 71, *c* konnten sie nicht durch besondere Buchstaben bezeichnet werden, aber eben dadurch unterscheiden sie sich von den Steigeröhren *F*); dieses sind Druckpumpen, doch haben sie nicht gewöhnliche Kolben, die in ausgebohrten Stiefeln sich bewegen, sondern vielmehr sogenannte Plungerkolben aus hohlen bronzenen Cylindern von 10½ Zoll Durchmesser. Die saubere Ausführung derselben wird besonders gerühmt. Die Hubhöhe scheint etwa 2 Fuss zu betragen. Die Art, wie diese Kolben gehoben werden, erlaubt es nicht, sie durch die Maschine selbst herabzustossen, zu diesem Zwecke mussten sie vielmehr besonders beschwert werden. Dieser Umstand war in dem erwähnten Gutachten der obersten Baubehörde gerügt worden, und allerdings muss die grosse Vermehrung der todten Last unpassend erscheinen, zumal da diese das Wasser in die Steigröhren drücken soll; man behielt die Einrichtung indessen bei, um das Parallelogramm oder eine andere künstliche Vorrichtung zur senkrechten Führung der Pumpenstange zu entbehren, die von gewöhnlichen Handwerkern nicht so sicher reparirt werden konnte. Die beiden an jedem Balancier befindlichen Pumpen, die sonach abwechselnd spielen, drücken das Wasser in eine gemeinschaftliche Steigeröhre *F*, und je zwei der letzteren, die von demselben Wasserrade gespeist werden, verbinden sich im Thurme zu den Röhren *G* (Fig. 71, *b*). Die letzteren beiden giessen jede ihren Inhalt in ein sichelförmiges Bassin *H* (Fig. 71, *b* und *d*) aus, von diesem fliesst es nach der in Frankreich üblichen Methode durch grössere Oeffnungen in die zweiten ebenso gestalteten Bassins *J* über und aus diesen in das ringförmige Bassin *K*; beim letzten Durchflusse durch die Wand zwischen *J* und *K* passirt es die kreisförmigen Oeffnungen, welche die Anzahl der Wasserzolle bestimmen, und wenn man in der Mitte des innern ringförmigen Bassins steht, kann man die Wirksamkeit jeder einzelnen Maschine mit einem Blicke beurtheilen. Das letzterwähnte Bassin steht mit den drei Abfallröhren *L* in Verbindung, von denen zwei über die Brücke nach dem Haupt-

theile der Stadt gehen und die dritte die Vorstadt St. Cyprien am linken Ufer der Garonne versorgt.

Bei dieser hier beschriebenen Einrichtung, die gewiss in allen Theilen sehr zweckmässig ist und von grosser Ueberlegung zeigt, ist es nur auffallend, dass man keine Windkessel angebracht hat, die sonst bei Druckpumpen von grosser Steighöhe und überhaupt bei langen Röhrenleitungen so wesentlich sind und allein einen sanften Gang der Maschine bedingen. Bei der Wassersäulenmaschine bei Berchtesgaden, wo man Anfangs auch in den langen Leitungen das Wasser stossweise anzog und wieder zur Ruhe kommen liess, bildeten sich sogar luftleere Räume, indem das entfernte Wasser so schnell nicht folgen konnte, und wenn die Wassersäule durch den atmosphärischen Druck sich wieder schloss, so erbebte jedesmal das ganze Gebäude. Auch bei Béziers und in manchen andern Fällen gab sich der Mangel an Luftkesseln durch heftiges Stossen und durch einen schweren Gang der Pumpen zu erkennen, so dass man sich gemeinhin gezwungen sah, sie noch nachträglich anzubringen. Auch verdient erwähnt zu werden, dass man bei Druckpumpen, die zu grosser Höhe das Wasser fördern, gern die Kolben von unten in die Cylinder eintreten lässt, um am obern Ende der letzteren das Ventil anbringen zu können, welches nach den Steigröhren führt. Man erlangt dadurch den Vortheil, dass die Luft vollständig entweicht und sonach deren abwechselnde Compression und Ausdehnung keinen Kraftverlust verursacht.

Zum Schlusse will ich hier bemerken, dass noch vor der Anlage der Röhrenleitungen die eine Maschine aufgestellt war, um sie zu versuchen und zugleich dem Publikum ihre Wirksamkeit zu zeigen, setzte man sie am 25. Mai 1825 in Gang und liess das Wasser aus den obern Fenstern des Thurmes herabstürzen. Drei Jahre später stellte man erst die zweite Maschine auf und seitdem (die Nachricht ist vom Jahre 1837) ist niemals eine vollständige Unterbrechung eingetreten, und die vorkommenden Reparaturen waren unbedeutend. Die Kosten betrugen

1) für Zu- und Ableitung des Betriebswassers	170000	Francs
2) für das Maschinengebäude	92000	-
3) für die Maschinen	106000	-
Summa	368000	Francs.

§. 19.

Messung des Wassers in den Leitungen.

Wenn man Wasserleitungen durch Quellen speisen will, so entsteht zunächst die Frage, ob diese auch reichhaltig genug sind, um dem Bedarfe zu genügen. Die Ergiebigkeit einer Quelle oder eines Baches lässt sich nach dem, was oben §. 6 gesagt worden, aus der Ausdehnung und Beschaffenheit des Terrains einigermaassen beurtheilen, welches die Zuflüsse liefert; auch ist angedeutet worden, inwiefern die localen Verhältnisse die Ausdünstung befördern oder mässigen und darnach das Quantum des übrigbleibenden Wassers geschätzt werden kann. Man darf sich jedoch nicht schmeicheln, auf diese Art eine grosse Genauigkeit im Resultate zu erreichen, aber nichts desto weniger sichert eine solche Betrachtung doch vor groben Täuschungen, denen man sich durch eine einmalige directe Messung leicht aussetzen kann. Am sichersten wird es immer sein, in verschiedenen Jahreszeiten die Messung der Wassermenge zu wiederholen; dieses Verfahren ist aber mühsam und häufig unausführbar und man muss sich daher gemeinhin mit einer sehr rohen Annäherung begnügen.

Die Messung der Wassermenge geschieht gewöhnlich, indem man an einer ziemlich regelmässigen Stelle des Baches das Profil und die mittlere Geschwindigkeit bestimmt. Es ist dieselbe Methode, die auch bei Flüssen und Strömen angewendet wird; ihre specielle Beschreibung wird daher im zweiten Theile einen passenderen Platz finden. Es tritt indessen bei der Untersuchung von Bächen und Quellen der Uebelstand ein, dass die geringe Wassertiefe häufig die Geschwindigkeitsmessungen nicht genau genug anstellen lässt, und überdies finden sich hier auch gemeinhin viel grössere Abweichungen zwischen den Geschwindigkeiten in den einzelnen Sectionen, als dieses bei Flüssen der Fall ist. So geschieht es nicht selten, dass an Stellen in gewissen Theilen des Profiles und oft gerade in denen, wo die Tiefe am grössten ist, die Geschwindigkeit sehr vermindert wird, oder wohl gar ganz aufhört. Hiernach ist die Bestimmung geringer Wassermengen aus ihrer mittleren Geschwindigkeit keineswegs sicher und man hat dafür andere Methoden angegeben und auch benutzt,

von denen hier die Rede sein soll. Gewöhnlich kommen diese darauf hinaus, dass man den Quell in ein Reservoir oder Gefäss von bekanntem Inhalte hineinleitet und die Zeit beobachtet, während welcher die Füllung geschieht; bei kleinen Bächen, und namentlich wenn sie stellenweise ein grösseres Gefälle haben, sind die Vorbereitungen zu einer solchen Messung nicht gerade schwierig zu nennen, wenn das Resultat aber sicher sein soll, muss man zwei Umstände dabei nicht ausser Acht lassen, nämlich

1) muss die Messung während eines constanten und gleichmässigen Abflusses erfolgen, damit die aufgefangene Wassermenge wirklich diejenige ist, die der Bach in derselben Zeit regelmässig abführt. Man darf also nicht etwa den Bach durchdämmen, und wie er eine gewisse Höhe des Dammes oder eine darin angebrachte Ausflussöffnung erreicht, die überströmende Wassermenge gleich messen wollen; es muss vielmehr, wenn dergleichen Anlagen gemacht sind, die Messung nicht früher begonnen werden, bis der Beharrungsstand eingetreten ist, d. h. bis der Wasserspiegel vor dieser Stauvorrichtung sich nicht mehr ändert.

2) darf man den künstlichen Stau, der zu diesem Zwecke erzeugt wird, auch nicht zu hoch treiben, denn in diesem Falle dringt ein Theil des Wassers in den Boden zur Seite und wie dieser feucht und sumpfig wird, so verliert der Bach an Reichhaltigkeit und der Verlust kann bei manchen Bodenarten ganz bedeutend sein, namentlich wenn sich dabei vielleicht noch andere Abflüsse eröffnen, was bei niedrigen Ufern immer besorgt werden muss.

Das beste Verfahren ist also dieses, dass man zur Messung eine Stelle aussucht, wo die Ufer geschlossen sind und das Gefälle recht stark ist; hier fängt man den Quell durch eine Rinne ab und gräbt neben derselben das wasserdichte Gefäss in das Bette ein. Sobald die Strömung in der Rinne zum Beharrungsstande gekommen ist, oder das Oberwasser weder steigt noch fällt, so öffnet man eine Klappe am Boden oder zur Seite der Rinne und lässt ihren ganzen Inhalt nach dem Gefässe strömen, während man nach einer Secundenuhr die Zeit der Füllung desselben beobachtet.

Prony führte eine sehr sinnreiche Veränderung dieser Methode

ein *), die auch bei vielen andern Beobachtungen benutzt werden kann, um den Einfluss einer regelmässig fortschreitenden Aenderung daraus zu entfernen. So z. B. habe ich mit vielem Vortheile davon Gebrauch gemacht, um bei Beobachtung der Strömung durch Röhrenleitungen einen unveränderten Wasserstand im Speisebassin zu entbehren. Ich will sie hier in ihrer Anwendung auf den vorliegenden Fall beschreiben. Man bringt im Bette des Baches einen hölzernen Kasten, oder eine Arche an, die regelmässig geformt und wenigstens in den verschiedenen Höhen einen gleichen horizontalen Querschnitt haben muss, den ich Q nenne. In diesen Kasten fliesst das Wasser durch eine Oeffnung A ein und durch eine zweite Oeffnung B auf der entgegengesetzten Seite oder am Boden ab. Es wird vortheilhaft sein, die erste von diesen beiden recht gross, und die zweite dagegen klein anzunehmen; die Oeffnung A kann durch ein leicht bewegliches Schütz geschlossen werden. Dieses Schütz wird zunächst geöffnet und sonach fliesst der ganze Bach durch den Kasten hindurch; es bildet sich ein Stau bei A und ein zweiter bei B, der letzte wird bei der angedeuteten Grösse der Oeffnung viel bedeutender sein, als der erste, und es kommt darauf an, dass der letzte mindestens einen Fuss und wo möglich noch grösser ist, doch darf man nach dem, was oben gesagt ist, ihn auch nicht zu stark machen, und daher wird am besten eine solche Stelle zur Beobachtung sich eignen, wo gerade ein starkes Gefälle schon vorhanden ist. Wenn die Strömung nun vollständig den Beharrungsstand erreicht hat, was man an einem im Kasten aufgestellten Marqueur beobachten kann, so schliesst man nach einer Secundenuhr das Schütz in der Oeffnung A; der Kasten erhält also von jetzt ab keinen Zufluss mehr, während der Abfluss im nächsten Momente noch der vollen Wassermenge des Baches entspricht, aber nach Maassgabe der eintretenden Senkung des Wassers im Kasten sich nach und nach vermindert. Man beobachtet nun diese Senkungen, die in gewissen Zeiten eintreten; bezeichnet man diese Senkungen mit z und die Zeiten mit t, so kann man (wenigstens als erste Näherung) annehmen $$z = a \cdot t + b \cdot t^2$$

*) *Mémoire sur le jaugeage des eaux courantes par de Prony.* Paris 1802.

wo a und b gewisse Constanten sind und t von dem Augenblicke des Schliessens der Oeffnung A gerechnet wird, sowie z auch von der früheren constanten Wasserhöhe abwärts zählt. Hat man nun gefunden, dass nach den Zeiten t' und t'' die Senkungen z' und z'' betragen, so kann man durch Substitution dieser Werthe die Constanten a und b berechnen. Man findet nämlich

$$z = \frac{t}{t''-t'}\left(\frac{t''-t}{t'}z' - \frac{t'-t}{t''}z''\right)$$

und hieraus $$\frac{dz}{dt} = \frac{1}{t''-t}\left(\frac{t''-2t}{t'}z' - \frac{t'-2t}{t''}z''\right)$$

Dieser Ausdruck bezeichnet die Geschwindigkeit, womit der Wasserspiegel im Kasten sich zur Zeit t senkt; es kommt darauf an, diese Geschwindigkeit zur Zeit $t = o$, oder für denjenigen Moment zu kennen, wo das Schütz geschlossen wurde. Für diesen Fall wird sie $$\frac{dz}{dt} = \frac{1}{t''-t'}\left(\frac{t''z'}{t'} - \frac{t'z''}{t''}\right)$$

Die Geschwindigkeit, womit der Wasserspiegel sich senkt, steht aber in einem bestimmten Verhältnisse zur ausströmenden Wassermenge, nämlich sie ist

$$= Q \cdot \frac{dz}{dt}$$

und da im Momente des Schliessens der obern Oeffnung wirklich die ganze Wassermenge noch ausströmte, so ist diese oder

$$M = \frac{t''t''z' - t't'z''}{t't''(t''-t')}Q$$

Auf solche Art ergeben zwei Beobachtungen über die Senkung des Wassers durch eine sehr leichte Rechnung die Wassermenge des Baches, und die Rechnung wird noch etwas einfacher, wenn man für gleiche Zwischenzeiten oder für

$$t'' = 2 \cdot t'$$

die Senkungen gemessen hat, man findet alsdann

$$M = \frac{2z' - \frac{1}{2}z''}{t'} \cdot Q$$

doch wird dadurch die Beobachtung etwas erschwert, woher diese Aenderung nicht empfehlenswerth sein möchte.

Nach den erwähnten Methoden und ebenso bei Bestimmung der Wassermenge, welche grössere Ströme führen, legt man immer

eine gewisse Zeiteinheit zum Grunde, gewöhnlich eine Secunde, und ermittelt das Quantum, welches während derselben abgeführt wird. Es werden bei dieser Bezeichnungsart also zwei Angaben nöthig, nämlich die der Zeit und des cubischen Inhalts. Bei gleichmässiger Strömung, von der hier nur die Rede ist, ist indessen die Zeit ein ganz fremdes Element, welches man entbehren könnte, wenn man die Ergiebigkeit einer Leitung oder eines Baches mit einem passenderen Maasse, als durch den cubischen Inhalt gemessen hätte; zu einem solchen, oder zur Einheit des Maasses eignet sich nur vorzugsweise ein Wasserstrahl von bestimmter Stärke. Diese Messungsart ist bei uns gegenwärtig nicht mehr üblich, doch ist sie schon von den Römern eingeführt worden und sie kam früher auch in Deutschland vor, sowie sie in Italien und Frankreich immer beibehalten ist; doch beschränkt sich ihr Gebrauch nur auf kleine Wassermengen, wie sie etwa bei Röhrenleitungen vorkommen. Es ist dieses der Wasserzoll (*Pouce d'eau des fontainiers*) oder der Strahl, der durch eine kreisrunde Oeffnung von 1 Zoll Durchmesser in einer dünnen und senkrechten Wand unter dem möglichst kleinsten Drucke abfliesst, d. h. die Druckhöhe ist so weit ermässigt, dass nur eben der obere Rand der Oeffnung noch vom Strahle berührt wird. Das Maass ist daher ganz genau bestimmt und seine Anwendung bietet auch sehr grosse Bequemlichkeiten dar, und der einzige Vorwurf, den man ihm machen kann, ist der, dass es bei der gewöhnlichen Einrichtung keine Unterabtheilung gestattet und man nur ganze Zahlen darnach bestimmen kann. Der Fehler, den man aus diesem Grunde begeht, ist also im Maximum gleich $\frac{1}{2}$, und er wird immer um so unbedeutender, je grösser die Wassermenge ist; schon bei fünf Zollen beträgt er nur den zehnten Theil des Ganzen, und mit dieser Genauigkeit muss man in den meisten Fällen sich schon begnügen, wenigstens wird die gewöhnliche Methode, wonach das Querprofil und die mittlere Geschwindigkeit gemessen wird, bei kleinen Wasserzuflüssen nicht leicht einen höheren und kaum diesen Grad von Sicherheit geben.

Der Apparat, womit man diese Messung ausführt, ist Fig. 72 *a* im Profile und *b* in der Ansicht von vorn dargestellt. Die Speiseröhre *A*, deren Zufluss man messen will, ergiesst sich in einen Kasten *B*; aus diesem fliesst das Wasser durch mehrere Oeff-

nungen *C*, die am untern Theile der Zwischenwand angebracht sind, in den Kasten *D*; dieser ist nur deshalb vom ersten getrennt, damit die starke Bewegung in der Oberfläche nicht unmittelbar vor den Ausflussmündungen noch stattfindet und zu demselben Zwecke ist der Kasten *D* auch noch durch Zwischenwände getheilt. In der Wand, welche die beiden Kasten *D* und *F* von einander trennt, befinden sich nun die kreisförmigen Oeffnungen von 1 Zoll Durchmesser, welche eben zur Messung dienen. Das durchfliessende Wasser sammelt sich in einem dritten Kasten *F*, von wo es weiter geleitet wird. Eine Hauptbedingung ist es hierbei, dass die durch die sämmtlichen Oeffnungen durchtretenden Strahlen gleich stark sind, und hierzu gehört nicht nur, dass die Oeffnungen gleich gross sind, sondern sie müssen auch alle einem gleichen Wasserdrucke ausgesetzt sein. Aus dem letzten Grunde löthet man die Messing- oder Kupferbleche, worin in gerader Linie und etwa in 3 Zoll Abstand von Mitte zu Mitte die Oeffnungen eingeschnitten sind, mit grosser Sorgfalt auf, so dass die Mittelpunkte aller Oeffnungen gleich hoch liegen, aber ausserdem ist auch noch eine besondere Vorsicht nöthig, damit in den Kasten *B* und *D* sich kein starkes Gefälle bildet, welches den Wasserstand vor den Oeffnungen neben der Speiseröhre merklich höher stellen würde, als vor den entfernteren. Dieses wird erreicht, indem man beiden Kasten ein recht grosses Profil giebt; da aber gewöhnlich der Raum sehr beschränkt und sonach eine grosse Breite nicht zulässig ist, so bleibt nur die Darstellung einer recht grossen Tiefe möglich. Die Messung geschieht nun in folgender Art: die sämmtlichen Zollöffnungen *E*, *E* sind mit gewöhnlichen Korken geschlossen, und sobald die Röhre *A* zu wirken anfängt und die äussern Kasten bis zur Höhe der Oeffnungen gefüllt sind, so nimmt der Aufseher einen Kork nach dem andern heraus und zwar so lange, bis die durchfliessenden Strahlen sich vom obern Rande der Oeffnungen trennen. Man kann dieses mit der grössten Deutlichkeit, sobald es erfolgt, wahrnehmen. Gesetzt nun, dass durch die fünf Oeffnungen *E*, *E* noch volle Strahlen durchgeflossen waren, dass aber, sobald die Oeffnung *E'* (die in der Figur als mit einem Korke geschlossen dargestellt ist) zu fliessen anfing, die Strahlen sich von den obern Rändern der Oeffnungen trennten, so zeigt dieses, dass die Wassermenge

5 Zoll oder darüber, aber noch nicht 6 Zoll beträgt. Durch diese Oeffnungen lässt man nun das Wasser dauernd abfliessen, und der Aufseher kann sonach zu jeder Zeit sich durch einen einzigen Blick überzeugen, ob die Wassermenge sich nicht vermindert; er kann aber auch sehr leicht wahrnehmen, ob sie sich vermehrt, wenn er es von Zeit zu Zeit versucht, noch eine der bisher geschlossenen Oeffnungen frei zu machen. Dieser Messapparat gewährt sonach den grossen Vortheil, dass er eine überaus leichte und bequeme Controle über die Ergiebigkeit der Wasserleitung dauernd zulässt.

Wenn aber das zufliessende Wasser nicht eine einzige, sondern mehrere Röhrenleitungen speisen soll, und es nöthig ist, das ganze Quantum unter diese entweder gleichmässig, oder nach einem bestimmten Verhältnisse zu vertheilen, oder aber wenn einige derselben ein gewisses Quantum unter allen Umständen erhalten müssen, so lässt sich dieses, wie Fig. 73 *a* im Grundrisse und *b* im Profile zeigt, sehr leicht bewirken, wenn eine zweite Reihe von Zollöffnungen dargestellt wird. Die Steigeröhren *A* giessen das Wasser in möglichst gleichen Abständen in den gemeinschaftlichen Kasten *B* aus, von wo es durch die verdeckten Oeffnungen nach *D* tritt. Die Reihe der zölligen Oeffnungen in der Wand des letztern führt es nach *F*, und bei diesem Uebergange geschieht, wie erwähnt, die Messung. Jede Mündung *G* einer zu speisenden Röhrenleitung ist aber wieder in einem vierten Kasten *H* befindlich, dem das Wasser durch eine neue Reihe von zölligen Oeffnungen zugeführt wird; durch Schliessen oder Oeffnen der letzteren hat der Aufseher es ganz in seiner Gewalt, jeder Leitung ihr Quantum zuzuweisen; er muss aber darauf achten, dass die Anzahl der sämmtlichen Oeffnungen, die den Leitungen das Wasser zuführen, immer mit der Zahl der Wasserzolle übereinstimmt, welche die Röhren *A* liefern, weil sonst leicht eine unangemessene Vertheilung der ganzen Wassermenge entstehen könnte. Die Figur zeigt überdies die ganze Anordnung der Bassins, wie sie in Frankreich üblich und gewiss sehr bequem ist. In dem Thurme auf dem Gebäude der Wasserhebungsmaschine liegen zunächst an der Mauer ganz frei und zugänglich die verschiedenen Steigeröhren. Sie giessen sämmtlich ihren Inhalt in den äussern Kasten, der gemeinhin

ohne Zwischenwand entweder längs allen vier Wänden, oder doch wenigstens an drei derselben sich hinzieht, indem an der vierten die Treppe liegt. Vor dem erwähnten Kasten liegen die übrigen, und der Aufseher, der in der Mitte des Thurmes sich aufhält, kann mit der grössten Bequemlichkeit sowohl die Controle, als auch die vorgeschriebene Vertheilung des Wassers ausüben. Endlich ist in der Figur noch ein blecherner Cylinder über der Mündung der Röhrenleitung *G* dargestellt, der-rings mit einer grossen Menge feiner Oeffnungen versehen ist, um die gröberen Stoffe, die das Wasser vielleicht mit sich führt, vom Eintritte in die Leitung abzuhalten. Gewöhnlich befindet sich in der Axe desselben auch noch ein Kegelventil, womit die Mündung der Leitung verschlossen werden kann. Endlich sind die sämmtlichen Kasten auf einem starken hölzernen Gestelle in solcher Höhe angebracht, dass der Aufseher möglichst bequem alle Oeffnungen im Auge behalten und erreichen kann. Die äussern Wände der Reservoire, die dem vollen Seitendrucke ausgesetzt sind, bestehen aus Holz; das Ganze ist aber mit Bleiplatten verkleidet und Bleiplatten bilden die innern Wände mit Ausnahme der Theile, wo die zölligen Oeffnungen eingeschnitten sind. Dieses sind gewöhnlich Kupferplatten. Durch die beschriebene Anordnung wird ein Theil der gewonnenen Höhe allerdings verloren, der Verlust beträgt aber nicht leicht mehr als einen Fuss und er erscheint daher unbedeutend in Vergleich zu den sonst erreichten Vortheilen.

Die beschriebene Methode lässt sich auch unmittelbar zur Messung der Reichhaltigkeit eines Baches anwenden; man darf letzteren nur durch ein eingegrabenes Brett sperren, worin die Metallplatte mit den zölligen Oeffnungen eingesetzt ist, und dieses Verfahren empfiehlt sich bei kleinen Wassermengen ganz besonders, da der Stau nur 2 bis 3 Zolle zu betragen braucht; es ist indessen immer nothwendig, dass die Oeffnungen sämmtlich in eine Horizontale treffen, und sonach dürfte eine Umleitung des Baches während der Vorbereitungen, die auch sonst nöthig wird, hier gleichfalls nicht zu umgehen sein.

Endlich kommt es noch darauf an, die Grösse des Wasserzolles in dem üblichen Maasse anzugeben, oder zu bestimmen, wie viel Wasser die zöllige Oeffnung unter den angeführten

Umständen in einer gewissen Zeit liefert. Nach den obigen Mittheilungen über die Contraction lässt sich die Aufgabe nicht lösen, indem es unbestimmt ist, wie stark das Wasser sich vor der Oeffnung senkt, denn der gesenkte Wasserspiegel soll eben den obern Rand der Oeffnung berühren. Man nimmt in Frankreich gewöhnlich an, dass diese Senkung oder die Druckhöhe über dem obern Rande 1 Pariser Linie beträgt, wenn der Durchmesser der Oeffnung 1 Pariser Zoll ist. Die Druckhöhe über dem Mittelpunkte der Oeffnung wäre also 7 Pariser Linien. Der Contractions-Coefficient, der für solche kleine Druckhöhen gilt, beträgt nach den Ponceletschen Beobachtungen etwa 0,65. Hiernach kann man die Berechnung anstellen, und sie macht sich am einfachsten, wenn man die unendlich schmalen horizontalen Sectionen der Oeffnungen, für welche man eine gleiche Druckhöhe annehmen kann, durch den variabeln Centriwinkel ausdrückt, dessen einer Schenkel vertical aufwärts und dessen anderer nach dem Seitenrande der Schicht gezogen ist. Das Integrale wird alsdann genommen zwischen den Grenzen 0 und 180 Graden, und man erhält die Wassermenge oder

$$M = \frac{1}{2} c \pi . D^2 \sqrt{g h} \left(1 - \frac{1}{128} . \frac{D^2}{h^2} - \frac{1}{3277} . \frac{D^4}{h^4} \ldots\right)$$

wo D den Durchmesser der Oeffnung, h die Druckhöhe über dem Mittelpunkte und c den Contractions-Coefficienten bedeutet. Hiernach hat man die Wassermenge berechnet, und damit ungefähr übereinstimmend nimmt man in Frankreich allgemein an, dass ein Wasserzoll in Pariser Maasse in der Minute 15 Pinten oder in 24 Stunden 19,1953 Cubikmeter liefert, oder 620,9 Pr. Cubikfuss. Prony hat in neuerer Zeit vorgeschlagen, die Oeffnung so zu vergrössern, dass sie in 24 Stunden 20 Cubikmeter giebt, und diesem abgeänderten Wasserzolle gab er die Benennung „*double module d'eau.*“ Bei der Leitung in Toulouse hat man diese Aenderung eingeführt, doch scheint sie sonst keinen Beifall gefunden zu haben. Jedenfalls möchte es bei dem Mangel an allen genauen Beobachtungen wohl zunächst wünschenswerther sein, den Werth des bisherigen Wasserzolles kennen zu lernen, als ihn durch einen neuen zu ersetzen, bei dem die Grösse der Oeffnung weder berechnet werden kann, noch auch durch Beobachtungen bestimmt ist.

Um ungefähr den Werth des Wasserzolles bei Anwendung des preussischen Zolles zu bestimmen, so nehme ich an, dass die Senkung des Wasserspiegels 1 preussische Linie beträgt; alsdann ergiebt sich derselbe in der Secunde 0,00602 Cubikfuss und in 24 Stunden 520 Cubikfuss.

§. 20.

Ansammlung des Wassers.

Wenn man einen Bach oder einen Fluss zur Speisung einer Wasserleitung benutzen will, so muss das Wasser an einer Stelle geschöpft werden, wo es möglichst rein ist. Unmittelbar am Boden enthält es jederzeit die meisten erdigen Theilchen und oft geht es hier sogar in einen dünnflüssigen Schlamm über. Aus dieser ersten Bedingung folgt unmittelbar, dass man an einer Stelle schöpfen muss, wo eine grössere Wassertiefe stattfindet, und man vermeidet es daher, neben dem Ufer das Wasser zu entnehmen. Hierzu kommt auch noch, dass die Verunreinigung durch einfallendes Laub hier am stärksten zu sein pflegt, auch die meisten Thiere sich daselbst aufhalten. Sodann ist eine besonders starke Strömung an der Stelle, wo die Ableitung geschieht, auch nicht vortheilhaft, indem das schnell bewegte Wasser eine Menge feiner Sandkörnchen schwebend erhält, die sich bei einiger Ruhe sogleich niederschlagen. Wenn man einen Damm oder ein Wehr quer durch das Bette führt, so vermeidet man auf die einfachste Weise die erwähnten Nachtheile; das Wasser staut sich davor an und man gewinnt den nöthigen Wasserstand, um in der nöthigen Entfernung von dem Grunde schöpfen zu können, und ausserdem wird die Strömung wegen des vergrösserten Profiles sehr gemässigt und das Wasser ist daher schon an sich reiner. Endlich tritt hierbei zuweilen auch noch der günstige Umstand ein, dass die Druckhöhe sich etwas vermehrt und dadurch die ganze Leitung an Ausdehnung und Wirksamkeit gewinnen kann. In dieser Beziehung darf man jedoch gemeinhin nicht zu viel sich versprechen und ja nicht einen zu grossen Stau hervorzubringen versuchen, denn im Allgemeinen hat jeder Quell verschiedene Ausgänge, oder er kann sich deren mehrere bilden; er folgt aber demjenigen, wo er die mindesten Widerstände findet und wo das stärkste

relative Gefälle vorhanden ist. Vermindert man nun das letztere durch den künstlich erzeugten Stau, so werden sogleich die andern Ausgänge um so wirksamer, und man kann es als eine ziemlich allgemeine Regel ansehen, dass man immer um so weniger Wasser erhält, je höher man dasselbe anspannt. Dieses Gesetz gilt auch noch, wiewohl aus einem andern Grunde, bei grösseren Bächen und selbst bei Flüssen; staut man dieselben nämlich hoch auf, so wird der Erdboden rings umher viel stärker befeuchtet, wie früher; die Verdunstung entzieht also ein viel grösseres Wasserquantum und eine Menge von Quellen zeigt sich nicht nur am Fusse des Dammes, sondern neben demselben und an den Ufern, indem das Wasser durch den stärkeren Druck durch den Boden hindurchgetrieben wird und nutzlos verloren geht. Durch eine sorgfältige Dammschüttung und Dichtung derselben, wovon später die Rede sein wird, lässt sich freilich dieser Uebelstand oft ganz umgehen, doch zuweilen ist dieses nicht möglich. Endlich ist in Beziehung auf die Auffangung des Wassers noch zu bemerken, dass man dieselbe nicht gern in der Oberfläche selbst anbringt, um das Eintreiben der schwimmenden Körper zu verhindern und um zugleich sicher zu sein, dass sie nicht etwa bei sehr niedrigem Wasserstande ganz unterbrochen wird.

Nach dieser Auseinandersetzung der allgemeinen Erfordernisse will ich einige Einrichtungen für verschiedene Fälle beschreiben: Fig. 74 *a* zeigt im Längendurchschnitt und Fig. 74 *b* in der Ansicht von oben die gewöhnliche Art, wie Quellen zum Speisen hölzerner Röhrenleitungen aufgefangen werden. D i e G r u n d r i n n e *x*, welche den Anfang der Röhrenleitung bildet, liegt in dem Erddamme, der den Stau bewirkt; sie muss sorgfältig in ein Lehmbette gelegt und mit einem Lehmschlage umgeben sein, damit das Wasser nicht zwischen ihr und der Erde einen Abfluss finden kann. An dem vorderen Ende, womit sie in den Weiher, oder in das Speisebassin hineinreicht, ist sie mit einem hölzernen Pflocke geschlossen; bei vorzunehmenden Reinigungen kann letzterer herausgeschlagen werden. Nicht weit davon steht d e r R i n n s t o c k *L*, auch wohl der M ö n c h genannt, der sie mit zwei Backen von beiden Seiten umfasst, und um die Verbindung um so sicherer zu machen, wird die Rinne einige Zolle tief eingeschlitzt, wie in Fig. 74 *b* durch die punktirten Linien angedeutet

ist. Der Rinnstock ist auf der dem Quelle zugekehrten Seite offen, und er wird durch eingesetzte Brettstückchen, die durch das Wasser angedrückt werden, hier geschlossen; jemehr derselben man einsetzt, um so höher spannt man das Wasser an und man kann also die Druckhöhe nach Maassgabe der Reichhaltigkeit des Quelles beliebig vergrössern. Der Zufluss geschieht hier immer in der Oberfläche und sonach muss ein Gitter in dem Rinnstocke angebracht sein, um das Eintreiben von Laub und anderen schwimmenden Körpern zu verhindern. Endlich muss für die gehörige Dichtung des ganzen Apparats gesorgt werden, doch ist dieses sehr leicht, indem der Wasserdruck das in die Fugen von aussen eingetriebene Werg, auch wohl Moos, andrückt und dadurch die Lecke von selbst zu dichten pflegt.

Bei Anwendung gusseiserner Röhren umgiebt man die im Wasser liegende aufwärts gerichtete Mündung gemeinhin mit einer kugelförmigen oder ellipsoidischen Blechhaube, die mit feinen Löchern versehen ist, um gleichfalls das Eintreten von schwimmenden Körpern und namentlich von Thieren zu verhindern.

Wird das Speisewasser für eine Wasserleitung aus einem Strome geschöpft, so ist die Speiseröhre zugleich die Saugeröhre für die Wasserhebungsmaschine. Eine künstliche Aufstauung kommt in diesem Falle gemeinhin nicht vor, und man muss die Röhre so tief legen, dass sie auch bei den niedrigsten Wasserständen noch in Wirksamkeit bleiben kann. Gewöhnlich leitet man in diesem Falle die gusseiserne Schöpfröhre auf einem hölzernen Gerüste über das flache Ufer bis zum tieferen Wasser, und zwar in solcher Höhe, dass sie beim kleinen Sommerwasser frei wird, was ihre Anlage und Unterhaltung sehr erleichtert. Die Mündung ist aber abwärts gerichtet und reicht bis unter das kleinste Wasser herab; in dieser Art wird z. B. die bereits erwähnte Maschine Gros-Caillou in Paris gespeist. Es tritt indessen hierbei der Uebelstand ein, dass die Röhre wegen ihrer hohen Lage vor manchen Beschädigungen und namentlich durch die darüber gehenden Schiffe nicht gesichert ist, und dass eine Reinigung derselben unmöglich wird, indem ihre beiden Mündungen unzugänglich sind. Aus diesem Grunde hat man in neuerer Zeit in England die Einrichtung getroffen, die Fig. 75 im Längendurchschnitte zeigt und die man den **Delphin** (*a Dolphin*) nennt.

Die Speiseröhre hat hier ihre Mündung nach oben gekehrt und selbige liegt 9 Zoll unter dem kleinsten Wasserstande; die Röhre senkt sich aber mit einem geringen Gefälle bis zum Brunnen, worin die Maschine das Wasser schöpft. Auf solche Art liegt die Röhre so tief, dass sie vor Beschädigungen gesichert ist, und wenn man ihre Mündung schliesst, so kann sie im Innern trocken gelegt werden. Die aufwärts gerichtete Mündung muss aber noch vor möglichen Beschädigungen gesichert werden, und dieses geschieht durch ein massives Gebäude, welches sie ganz umgiebt; dasselbe ist mit einer Reihe fensterähnlicher Oeffnungen versehen, die von aussen mit einem starken Gitter und von innen mit einem feinen Drahtnetze geschlossen sind; durch selbige erfolgt der Zufluss des Wassers. Bei Hochwasser wird das ganze Gebäude überströmt, bei niedrigem Wasser kann man aber heranfahren und auch hineinkommen, um die Gitter und Netze zu reinigen.

Bei der Auffangung des Wassers für Röhrenleitungen darf häufig nicht der ganze Reichthum des Quelles oder Baches geschöpft werden, indem der Bach noch zu andern Zwecken, z. B. zum Betriebe von Mühlen, benutzt wird, und es tritt alsdann die Nothwendigkeit ein, eine gewisse Vertheilung vorzunehmen, die oft wieder durch die verschiedenen Witterungsverhältnisse bedingt wird. Das gewöhnlichste Mittel, dessen man sich hierbei zu bedienen pflegt, ist dieses, dass der Zufluss nach der Röhrenleitung durch Schütze oder Ventile, oder auf andere Art von dem dazu angestellten Aufseher regulirt wird. Diese Anordnung vertheuert indessen nicht nur die Anlage, sondern sie macht die genaue Wahrnehmung des einen und des anderen Interesses auch nur von der Aufmerksamkeit des Wärters abhängig, der gemeinhin nicht leicht zu controliren ist, wie sich dieses bei dem Ziehen der Freischütze an unsern Wassermühlen schon so deutlich zu erkennen giebt. Man hat sich daher vielfach bemüht, die Bewegung jener Schützen und Klappen durch die veränderte Strömung oder die Veränderung des Wasserspiegels in dem Gerinne oder Bache selbst zu bewirken und dadurch nicht nur den Aufseher zu ersparen, sondern auch jede eintretende günstige Veränderung in dem Zuflusse, wenn sie auch nur von sehr kurzer Dauer wäre, zu benutzen und jeder Versäumniss im Ziehen der Schütze

vorzubeugen. Bei uns kommen dergleichen Anlagen nicht vor, und man hat im Allgemeinen zu denselben auch wenig Vertrauen, indem man meint, dass die Maschinerie bald in Unordnung kommen müsste; die Erfahrung scheint dieses auch insofern zu bestätigen, als schon die Versuche, ein Schütz um eine horizontale Axe drehen zu lassen, welches sich bei einem gewissen Wasserstande von selbst öffnen soll, nicht lange seinen Dienst zu erfüllen pflegt. Man darf indessen nicht vergessen, dass der Grund des Missglückens eines Versuches nicht immer in der Unbrauchbarkeit der Erfindung selbst liegt und er vielmehr häufig auch in der unpassenden Anordnung und schlechten Ausführung zu suchen ist. Wenn daher von einer Einrichtung gesagt wird, dass sie sich praktisch nicht bewährt habe, so bedeutet dieses sehr häufig nur, dass sie wegen der ungeschickten Anwendung missrieth, und dieses wird im Allgemeinen um so mehr zu erwarten sein, je geringer das Zutrauen zum Versuche schon vorher war.

In England sind nun Anlagen dieser Art mehrfach zur Ausführung gekommen; hierher gehören schon die schwimmenden Heber, die bei allen Wasserständen des Baches immer eine gleiche Quantität Wasser abführen. Man richtet sie so ein, dass der Bach einen Brunnen speist, und in diesem schwimmt eine Kugel, die den über den Rand des Brunnens herüberreichenden Heber trägt und sonach dessen Stellung nach Maassgabe der Hebung oder Senkung des Wasserspiegels verändert. Damit der Heber indessen immer senkrecht gerichtet bleibt und nach einer bestimmten Seite ausgiesst, so hängt er an zwei Ketten, die über Räder führen, und letztere sind durch Gegengewichte so abgeglichen, dass die grössere oder mindere Länge der abgerollten Trageketten ihren Einfluss verliert. *)

In weit grösserer Ausdehnung ist diese Selbstregulirung der Zu- und Abflüsse aber bei der sehr bedeutenden Wasserleitung in Ausführung gebracht, welche Greenock, ein Städtchen etwa 1 Meile unterhalb Glasgow an dem Clyde belegen, mit Wasser versorgt. Ich will die wichtigsten der daselbst getroffenen An-

*) Verhandlungen des Gewerbevereins. Zehnter Jahrgang. Berlin 1831. S. 309.

ordnungen nach der Beschreibung von Mallet *) hier kurz auseinandersetzen und bemerke zuvor, dass man den Shaw-Fluss oberhalb Greenock in einem grossen Bassin von 470 Magdeburger Morgen Grundfläche und mehr als 500 Fuss hoch über dem Niveau des Clyde auffing und ausserdem eine grosse Menge anderer Bassins anlegte, die jedoch eine viel geringere Ausdehnung haben. Man sammelt hier alles Wasser, was man irgend gewinnen kann und lässt den bereits bestehenden Mühlen nur das, was sie bisher zu ihrem Betriebe benutzten. Der Ueberschuss bei nassem Wetter fliesst sonach in das Bassin und nicht minder der ganze Mühlengraben, sobald er zu wenig Wasser enthält, um die Mühle zu treiben. Aus diesem Bassin werden dagegen zwei Reihen von Mühlen gespeist, von denen die eine 26 und die andere 18 oberschlächtige Räder enthält, und das Wasser dient zuletzt noch zur Versorgung des Ortes und der daselbst anlegenden Schiffe.

Die hier angebrachten Selbstregulirungen der Zu- und Abflüsse beruhen nun auf verschiedenen Principien, die sich aus den folgenden Beispielen vollständig ergeben werden und die auf Taf. VIII. dargestellt sind. Fig. 76 zeigt die Vorrichtung, um einen Mühlengraben aus dem Sammelbassin zu speisen, der jederzeit Zufluss erhalten muss, sobald die Mühle in Gang gesetzt wird. *A* ist das Niveau im Bassin, *B* das im Mühlengraben. Beide sind mit einander durch einen überwölbten Canal verbunden, an dessen oberen Mündung sich ein Schütz befindet, welches durch einen Hebel *DE* gestellt wird und dieser Hebel erhält seine Bewegung durch einen Schwimmer *FG* im Mühlengraben. Sobald die Mühle in Gang gesetzt wird, senkt sich davor der Wasserspiegel und mit demselben der erwähnte Schwimmer, der folglich das Schütz *C* hebt und dadurch den Zufluss aus dem Sammelbassin eröffnet. Dieser Zustand dauert so lange, bis die Mühle geschützt wird; geschieht dieses, so hebt sich der Schwimmer mit dem Wasser vor der Mühle und sperrt den weitern Zufluss ab. Der Schwimmer *FG* ist 19 Fuss lang und breit und 7 Zoll stark. Der Hebel *DE* misst im kürzern Arme (auf der Seite des Schwimmers) 9 Fuss und im längern 18 Fuss. Das Schütz *C* ist $3\frac{1}{4}$ Fuss lang und $1\frac{1}{4}$ Fuss hoch. Nun trifft es sich aber

*) *Annales des ponts et chaussées.* 1831. I. p. 152.

zuweilen, dass das Oberwasser der Mühle auch durch das von den Seiten zuströmende Wasser stark gehoben wird, und der Hebel, der nach der beschriebenen Einrichtung sich nur so lange bewegen kann, bis das Schütz ganz geschlossen ist, würde alsdann durch den Schwimmer eine solche Pressung erhalten, dass theils der letztere in Unordnung gerathen, theils aber auch die Zugstange des Schützes verbogen werden könnte; um dieses zu verhindern, ist die Axe des Schwimmers nicht unmittelbar am Hebel befestigt, sondern an einem zweiten Hebel, der durch ein Gewicht *H* in einer bestimmten Stellung gegen den ersten erhalten wird. Sobald aber der erwähnte Fall eintritt, so hebt sich der zweite Hebel mit dem angehängten Gewichte, und die Axe gleitet an demselben fort und erlaubt dadurch dem Schwimmer noch ansehnlich höher zu steigen; diese Vorrichtung fand Mallet seit 13 Jahren im Gange.

Fig. 77 ist eine andere Vorrichtung zu demselben Zwecke, die aber den Vortheil hat, dass sie auch noch angewendet werden kann, wenn die Niveaudifferenz zwischen dem Bassin *A* und dem Mühlengraben *B* sehr bedeutend und folglich das Stauwehr eine solche Breite erhält, dass der Hebel, der dort gewählt war, nicht mehr bequem herüberreichen kann. Aus dem Speisebassin führt eine sehr enge Röhre *CD*, die fortwährend geöffnet bleibt, einen feinen Wasserstrahl nach dem Cylinder *E* und dieser entleert sich durch die Röhre bei *F* in den Mühlengraben. Hier befindet sich der kleine Schwimmer *G*, der an seiner Axe ein Ventil trägt, womit er die untere Mündung der benannten Röhre von unten verschliesst, sobald er bis zu einer gewissen Höhe steigt. Der Erfolg ist sonach der, dass bei einem niedrigen Wasserstande im Mühlengraben der Cylinder *E* leer, und bei höherem Wasserstande gefüllt sein wird. Die Ausflussmündung aus dem Bassin nach dem Mühlengraben wird nun durch eine Klappe *J* geschlossen, welche sich um eine horizontale Axe dreht und welche so eingerichtet ist, dass sie bei allen verschiedenen Wasserständen im Bassin geschlossen bleibt und nur durch einen Zug an der Kette *K* geöffnet werden kann. Diese Kette führt über eine Scheibe und trägt ein Gewicht *H*, das im Cylinder *E* hängt; letzteres wird also, jenachdem der Schwimmer *G* das Ventil *F* geschlossen oder geöffnet erhält, auch einen starken oder schwachen Zug ausüben, denn sobald es im Wasser schwebt, wird sein Gewicht

beinahe ganz aufgehoben. Auf diese Art hat die Senkung des Wasserspiegels im Mühlengraben beim Anlassen der Mühle die Folge, dass der Cylinder *E* sich entleert und das Gewicht *H* das Schütz oder die Klappe *J* öffnet; sobald aber die Mühle wieder angehalten wird, füllt sich sogleich der Cylinder *E*, der Zug an der Kette *K* hört auf und der Wasserdruck schliesst die Ausflussmündung.

Der in Fig. 78 dargestellte Apparat hat noch denselben Zweck, wie die beiden vorhergehenden, er unterscheidet sich vom letzten aber dadurch, dass die Axe des Schwimmers zwei Ventile trägt und dadurch eine sehr scharfe Regulirung bewirkt werden kann, so dass, wie Mallet bemerkt, dieselbe Vorrichtung sich auch sehr gut eignen möchte, um ein constantes Niveau bei hydraulischen Versuchen darzustellen. Auch hier bezeichnet *A* den Wasserspiegel im Speisebassin und *B* denselben im Canale, worin man das constante Niveau erhalten will. Nach der Figur ist angenommen, dass der Wasserzufluss, der die Regulirung in Wirksamkeit setzt, durch einen fremden Quell gespeist wird, doch ist dieser Umstand nicht wesentlich hierbei und man kann ebenso gut auch eine feine Ableitung aus dem Bassin dazu benutzen. Die Verbindung zwischen dem Speisebassin und dem Mühlengraben wird durch eine Klappe *C* geschlossen, welche durch den Wasserdruck immer geöffnet bleiben würde, wenn nicht das Gewicht *H* durch die Kette *K* sie zurückdrückte. Dieses Gewicht *H* schwebt wieder in einem Cylinder *E*, der mit Wasser gefüllt oder leer ist, jenachdem der Wasserstand im Mühlengraben niedrig oder hoch ist. An der Axe des Schwimmers *G* befinden sich nämlich zwei Kegelventile, wodurch zwei Oeffnungen verschlossen werden können, von denen die eine die Verbindung zwischen dem Reservoir *D* und dem Cylinder *E* darstellt und die andere das Wasser aus dem Cylinder *E* entweichen lässt. Ist jene geschlossen und diese geöffnet, was bei der höheren Lage des Schwimmers der Fall ist, so bleibt der Cylinder leer, und folglich drückt das Gewicht *H* die Klappe *C* fest an, so dass die Verbindung geschlossen bleibt; im entgegengesetzten Falle, bei dem niedrigern Stande des Schwimmers, füllt sich der Cylinder mit Wasser, das darin schwebende Gewicht verliert an Zug und die Klappe *C* öffnet sich. Ein Apparat dieser Art war seit 1819 im Gange; der Cylinder *E* ist

4 Fuss 1 Zoll weit und 5 Fuss hoch, wogegen das Gewicht *H*, welches gleichfalls cylindrisch ist, 4 Fuss im Durchmesser hält und 4 Fuss hoch ist. Der Schwimmer *G* ist 2 Fuss breit, ebenso lang und 6 Zoll hoch. Die beiden Ventile bei *F* haben 2 Zoll im Durchmesser; und endlich die Klappe *C* ist 4 Fuss lang und 6 Zoll hoch, doch ist der Apparat so kräftig, dass die Klappe ohne Nachtheil auch grösser sein könnte.

Für den Fall, dass aus einem Mühlengraben, sobald derselbe mehr Wasser führt, als zum Betriebe der Mühlen erforderlich ist, der Ueberschuss nach dem Speisebassin geleitet werden soll, ist die Vorrichtung Fig. 79 angewendet worden. *A* ist der Mühlengraben. Die Klappe *B D*, die um die horizontale Axe bei *B* sich dreht, schliesst den Abfluss nach dem Speisebassin. Ein gusseiserner Hebel ist an der Klappe befestigt und vermöge des Gegengewichts *E* hält er sie gegen den Wasserdruck geschlossen. Steigt das Wasser im Mühlengraben, so fliesst es durch die Rinne *B C* nach dem Eimer *F*, und wie derselbe sich mit Wasser anfüllt, so wirkt er dem Gewichte *E* entgegen und hebt letzteres zugleich mit der Klappe auf, so dass der Ausfluss erfolgt. Sobald aber der Wasserstand bei *A* sich gesenkt hat, so dass der Zufluss in den Eimer *F* aufhört, so entleert sich dieser sehr bald durch eine feine Oeffnung im Boden und das Gewicht *E* schliesst wieder die Klappe.

Man möchte vielleicht glauben, dass die ganze Wassermenge, die man bei höheren Anschwellungen ableiten will, in derselben Art über ein Ueberfallwehr von einer gewissen Höhe gestürzt werden könnte, wie hier das kleine Gerinne *B C* zu wirken anfängt. Dieses ist jedoch keineswegs der Fall, denn ein Wehr senkt nie den Wasserspiegel bis zur Höhe seines Rückens und das Wasser steht davor immer um so höher, je stärker der Zufluss ist. Will man also einen constanten Wasserspiegel darstellen und grosse Wassermengen abführen, so muss man Oeffnungen bilden, die einem höheren Wasserdrucke ausgesetzt sind, und dieses ist hier geschehen. Einen Apparat von der beschriebenen Art hat man seit 1821 eingerichtet; die Klappe *B D* ist dabei 4 Fuss lang und 2½ Fuss hoch, der Hebel daran hat eine Länge von 5 Fuss. Das Gewicht *E* besteht aus einem eisernen, mit Steinen angefüllten Cylinder von 6 Zoll Durchmesser und 18 Zoll Höhe;

er wiegt mit der Füllung 260 Pfund. Der kupferne Eimer *F* dagegen ist 18 Zoll hoch und ebenso weit.

Genau zu demselben Zwecke dient auch der Apparat, den Fig. 80 darstellt; der Abfluss aus dem Mühlengraben *A* ist durch die Klappe *B C* geschlossen, die sich um die horizontale Axe *B* dreht. Der Wasserdruck allein würde diese Klappe sogleich öffnen, wenn nicht das Gewicht *D* sie mittelst einer Kette zurückhielte. Letzteres hängt jedoch in einem gusseisernen Cylinder, der im Mühlengraben steht und der in der Höhe des Wasserstandes, wo der Abfluss eröffnet werden soll, ringsum mit kleinen Löchern versehen ist. Steigt das Wasser bis hierher, so füllt es den Cylinder, und das Gewicht *D* ist nicht mehr im Stande, die Klappe geschlossen zu erhalten, woher der Abfluss beginnt. Senkt sich nun aber wieder der Wasserspiegel im Mühlengraben, so dass die Löcher kein Wasser mehr dem Cylinder zuführen, so entleert sich der letztere bald durch die sehr feine Röhre *E F* und das Gewicht *D* zieht wieder die Klappe an. Es muss hier bemerkt werden, dass die Röhre *E F* einen so geringen Querschnitt haben muss, dass sie bei eintretender Wirksamkeit der Oeffnungen im Cylinder nicht den ganzen Zufluss abführen darf, sie wird aber nicht geschlossen und sonach bildet sich für jeden constanten Zufluss durch die Oeffnungen auch ein constanter Wasserstand im Cylinder, und zwar wird derselbe um so höher sein, je grösser jener Zufluss ist. Auf solche Art erreicht man noch den Vortheil, dass bei höheren Wasserständen im Mühlengraben auch die Klappe um so weiter geöffnet wird. Ein Apparat dieser Art ist seit 1817 im Gange; bei demselben ist der Cylinder *G* 5 Fuss 10 Zoll tief und 2 Fuss 1 Zoll weit; das Gewicht *D* ist gleichfalls cylindrisch, sein Durchmesser misst 2 Fuss und seine Höhe beträgt eben so viel; es wiegt 500 Pfund. Die Klappe, die jedoch eine etwas andere Einrichtung hatte, war 4 Fuss hoch und 4 Fuss breit.

Endlich will ich noch die künstlichste bei Greenock zur Ausführung gebrachte Einrichtung beschreiben, die auch den Zweck hat, von Mühlengräben das überflüssige Wasser dem Speisebassin zuzuweisen, jedoch nicht nur zur Zeit des Hochwassers, wo der Graben zu viel Wasser führt, sondern auch zur Zeit der Dürre, wo er so wenig Zufluss hat, dass die Mühle doch nicht in Betrieb

gesetzt werden kann. Die Regulirung geschieht hier durch einen kleinen Seitenzufluss, der durch seine Reichhaltigkeit den Maassstab abgiebt, ob das Wasser in das Bassin geleitet werden darf, oder nicht; diese Anordnung ist insofern auch ganz angemessen, als alle Quellen in der Nähe entspringen und man daher annehmen kann, dass, sobald eine derselben versiegt oder anschwillt, dieses auch mit allen andern der Fall sein wird. Nun kommt hier aber noch der Umstand in Betracht, dass zwischen dem eröffneten Abflusse und der Mühle noch mehrere Quellen und Bäche den Mühlengraben speisen, die zur Zeit eines anhaltenden Regens schon allein das erforderliche Betriebswasser liefern und daher erlauben, den ganzen Graben hier abzuleiten. Bei etwas geringerem Zuflusse darf nur ein Theil des Wassers entnommen werden, und bei noch geringerem gar nichts. Versiegen die Zuflüsse aber immer mehr, so vermindert sich der Inhalt des Grabens auch in demselben Maasse, und wie endlich eine gewisse Grenze der Dürre erreicht wird, so kann wieder aufs Neue alles Wasser in das Speisebassin geleitet werden. Fig. 81 stellt die Einrichtung dar, welche alle diese verschiedenen Modificationen des Zuflusses bewirkt; es wurden nach dem erwähnten Aufsatze von Mallet sechs Stück derselben gerade eingerichtet, und Robert Thom, von dem alle diese sinnreichen Erfindungen ausgegangen waren, versprach sich auch hiervon einen günstigen Erfolg. *A* ist der Mühlengraben und *B* die Klappe, die seinen Abfluss nach der Mühle sperrt; sie wird nicht nur durch den Wasserdruck geschlossen erhalten, sondern ausserdem noch durch ein kugelförmiges Gewicht, das besonders dazu dient, sie wieder zu schliessen, sobald sie geöffnet war. An der Klappe befindet sich ausserdem noch ein Arm, woran eine Kette befestigt ist, und diese bewirkt die Oeffnung, sobald der Eimer *D* gefüllt ist. Am Boden des letzteren befindet sich eine Oeffnung, durch welche das hineingekommene Wasser wieder abfliesst, und so verschwindet bei einem geringen, oder noch mehr bei gar keinem Zuflusse sehr bald das Uebergewicht des Eimers *D*, und die Klappe *B* wird alsdann geschlossen. Es kommt sonach nur darauf an, das Wasser aus dem Seitenzuflusse, der im Bassin *E* gesammelt wird, bei einer gewissen mittleren Ergiebigkeit in den Eimer zu führen und bei grösserer und geringerer Reichhaltigkeit davon abzuhalten.

Dieses geschieht nun folgendermaassen: der Seitenzufluss strömt durch die Röhrenleitung und durch den Ausguss bei *F* in den Eimer; ist er sehr schwach, so kann der Eimer nicht das Uebergewicht bekommen, indem das Wasser sich nur schwach darin ansammelt und mit geringer Druckhöhe durch die Bodenöffnung schon abgeführt wird. Wird dagegen die im Bassin *E* aufgefangene Wassermenge grösser, so genügt die Bodenöffnung im Eimer nicht mehr, die Ansammlung zu verhindern, und derselbe wird so schwer, dass er die Klappe *B* öffnet. Wird nun aber der Zufluss noch grösser, so ist auch der Ausguss der Leitung *F* nicht mehr genügend, um das Wasser sogleich abzuführen; es sammelt sich in den Röhren an und sobald es die cylindrische Erweiterung bei *G* erreicht, so hebt es den in derselben liegenden Schwimmer, und da sich an dessen Axe ein Kegelventil befindet, das eine Oeffnung über dem Ausgusse schliesst, so wird wieder der Zufluss zum Eimer abgesperrt; letzterer entleert sich durch die Bodenöffnung so weit, dass die Klappe *B* sich wieder schliesst, und sonach hört auch in diesem Falle die Zuführung des Wassers nach der Mühle auf und dasselbe gelangt zum Speisebassin.

Auch in andern Fällen, als gerade bei solchen Wasserleitungen, wovon hier die Rede ist, hat man Vorkehrungen getroffen, wodurch die Erhebung des Wasserstandes über eine gewisse Höhe verhindert wird. Hierher gehören die heberförmigen Ablässe, welche Garipuy am Canal du Midi anlegte. Ihr Zweck ist genau übereinstimmend mit dem, der in Fig. 79 und 80 dargestellten Einrichtungen; ich will daher diese hier gleichfalls beschreiben. Fig. 82 *a* und Fig. 82 *b* zeigen einen solchen Ablass im Querschnitte und im horizontalen Durchschnitte, letzteren nach der Linie *A B* des Querschnittes. Hätte man hier nur ein Ueberfallwehr angebracht, so würde, wie bereits erwähnt, eine starke Erhebung des Wasserspiegels im Canale immer möglich geblieben sein und die Gefahr vor einem Durchbruche der Canaldämme an der Thalseite wäre nicht beseitigt gewesen. Sobald dagegen die Heber in Wirksamkeit treten, so wird die durchströmende Wassermenge von der Niveaudifferenz des Ober- und Unterwassers abhängig und sie zeigen sich daher viel kräftiger und wirken förmlich als Grundablässe. Es sind immer je drei solcher heberförmigen Oeffnungen in einer gemeinschaftlichen Mauer ausgespart;

sie haben einen oblongen Querschnitt und sind etwa $2\frac{1}{2}$ Fuss breit und $1\frac{1}{4}$ Fuss hoch, ihre obere Mündung liegt zwei Fuss über der Canalsohle, wodurch das Eintreiben schwimmender Körper verhindert wird. Die Bodenfläche der Heber erhebt sich in dem höchsten Punkte bis zur Höhe desjenigen Wasserstandes, den man im Canale zu halten pflegt, und in dieser Höhe liegt auch das Luftrohr *CD*, das in einer feinen Rinne besteht. Die Wirksamkeit der Heber ist nun folgende: bis zu dem erwähnten Wasserstande ist jedes Ueberlaufen verhindert, sobald aber der Canal noch etwas wächst, so fliesst durch die Oeffnungen, wie über ein Wehr, etwas Wasser über, doch ist die Menge desselben nicht bedeutend, so lange nicht die Decke des Hebers an der höchsten Stelle erreicht wird. Geschieht dieses, so beginnt die eigentliche Wirkung, da nunmehr die ganze Niveaudifferenz zur Druckhöhe wird. Dieser Erfolg würde aber nicht früher aufhören, als bis der Canal beinahe ganz geleert wäre und die Einflussmündung wieder Luft schöpfte, wenn nicht das erwähnte Luftrohr vorhanden wäre. Letzteres unterbricht schon das Spiel des Hebers, sobald der gewöhnliche Wasserstand dargestellt ist. Man hat diese Einrichtung, soviel bekannt, bei andern Canälen nie nachgeahmt, sie soll auch insofern nicht empfehlenswerth sein, als sie häufig in Unordnung kommt und sehr schwierige Reparaturen sich dabei oft wiederholen. *)

§. 21.

Filtriren des Wassers.

Das Wasser der Quellen ist selten ganz rein, und noch weniger ist dieses bei dem der grösseren Bäche und Flüsse der Fall. Die Bestandtheile, die es enthält, sind entweder verschiedene Erdarten, die im Zustande einer sehr feinen Zertheilung darin schweben, ohne in eine chemische Verbindung mit dem Wasser getreten zu sein; wenigstens ist die Quantität der wirklich aufgelösten Erde gemeinhin so geringe, dass sie ganz unbeachtet

*) *Programme ou Resumé des Leçons d'un cours de constructions, ouvrage de Feu Mr. Sganzin, quatrième édition par Reibell. Paris* 1839. *Tome II. p.* 136.

bleiben darf. Andererseits aber kann die Verunreinigung des Wassers auch von Stoffen herrühren, die chemisch darin aufgelöst sind und deren Anwesenheit sich daher weder durch die Trübung noch durch Färbung des Wassers zu erkennen giebt. Hierher gehört der Fall, wenn die Quellen sich in einer Gebirgsart bilden, die an sich im Wasser auflöslich ist, oder doch Bestandtheile enthält, welche diese Eigenschaft haben, wie Gyps, Kochsalz u. a. Von besonderem Einflusse ist aber die Kohlensäure, die zuweilen in sehr grosser Menge absorbirt wird; schon wenn das Wasser in ausgedehnten Bassins lange steht, verschluckt es aus der Atmosphäre die Kohlensäure, doch in viel höherem und nachtheiligerem Grade geschieht dieses, wenn organische Stoffe, die bereits in Fäulniss übergehen, damit in Berührung treten. Im letzten Falle bekommt das Wasser den faulen, höchst widerlichen Geschmack und es erzeugen sich darin auch bald Pflanzen und Thiere, woher man vor solchem Wasser die Leitungen besonders bewahren muss. Ist nun aber auf die eine oder die andere Art eine Menge Kohlensäure in das Wasser getreten, so wird dadurch wieder dessen auflösende Kraft vermehrt, und namentlich nimmt es jetzt den kohlensauren Kalk, mit dem es in Berührung kommt, sehr stark auf, während es früher beinahe gar nicht von ihm afficirt wurde. Ganz dasselbe geschieht auch mit dem weit verbreiteten kohlensauren Eisenoxydul, welches das Wasser gleichfalls auflöst und in sich aufnimmt, sobald es eine Menge Kohlensäure verschluckt hat.

Dieses wären die gewöhnlichsten chemischen Verbindungen, die sich im Quell- und Flusswasser vorfinden. Wie man dieselben durch Reagentien oder auf andere Art erkennen kann, gehört nicht hierher, und ebensowenig die Auseinandersetzung der Methode, wodurch einer oder der andere fremde Bestandtheil daraus abgeschieden werden kann. Letzteres geschieht auch niemals bei den Reinigungen, die man bei grösseren Wasserleitungen vornimmt, man beschränkt sich hier immer nur darauf, die im Wasser schwebenden Theilchen, die also nicht chemisch damit verbunden sind, zu entfernen, und selbst wenn man bei kleineren Filtrir-Apparaten die Kohle anwendet, um dem Wasser die erwähnte faule Beschaffenheit zu nehmen, so scheint hierbei auch mehr die sehr poröse Beschaffenheit, also eine Eigenschaft der Form,

wirksam zu sein, als eine chemische Einwirkung. Hin und wieder wendet man freilich auch chemische Mittel an, um die Reinigung eines unbrauchbaren und selbst eines sehr trüben Wassers entweder eintreten zu lassen oder doch zu befördern, so z. B. wird bei manchen Filtrir-Anstalten in Paris der Alaun benutzt, in Egypten reibt man eine Art Brod, das aus bittern oder süssen Mandeln zu diesem Zwecke gebacken ist, an den Wänden des thönernen Wassergefässes, und indem man darauf das Wasser stark umrührt, so klärt es sich in wenig Stunden auf, so dass es nicht nur die Trübung verliert, sondern auch einen reinen Geschmack erhält. *) Aehnliche Vorrichtungen kommen jedoch bei den grösseren Reinigungsanstalten, von denen hier nur die Rede sein kann, nicht vor; diese beziehen sich vielmehr allein darauf, durch längere Ruhe die im Wasser schwebenden Erdtheilchen niederzuschlagen, oder sie durch Filtriren zu entfernen. Es handelt sich hier also immer nur um eine Lösung der mechanischen, aber nicht der chemischen Verbindungen.

Das erste Mittel, nämlich das Niederschlagen durch blosse Ruhe, hat bei der Anwendung im Grossen bedeutende Schwierigkeiten; das aus einem stark fliessenden Strome geschöpfte Wasser, welches also gewöhnlich auch sehr trübe ist, pflegt in den ersten 24 Stunden noch nicht den nöthigen Grad von Klarheit und Reinheit zu gewinnen; es muss also längere Zeit hindurch stehen. Dieser Umstand bedingt die Anlage von mehreren Bassins, nämlich wenigstens dreien derselben, deren jedes den ganzen Bedarf für einen vollen Tag fasst, und wenn man die sehr häufigen Reinigungen und Reparaturen mit berücksichtigt, so sind vier solcher Bassins erforderlich. Die Beschaffung des dazu nöthigen Raumes ist in der Nähe grosser Städte, und besonders da eine bestimmte Localität dabei Hauptbedingung bleibt und man also eine willkührliche Verlegung gar nicht vornehmen darf, sehr schwierig und kostbar, und ebenso erfordert ihre Einrichtung und Unterhaltung auch grosse Vorsicht und wieder neue Kosten. Der übelste Umstand ist dabei aber der, dass solche Bassins, wenn sie eine grosse Ausdehnung erhalten, nicht leicht den Sonnenstrahlen und dem Staube durch eine Verdachung entzogen, noch

*) *Annales des ponts et chaussées.* 1836. I. *p.* 102.

auch vor der Erwärmung geschützt werden können. Sie bilden also in diesem Falle grosse stehende Wasserflächen, die besonders als nachtheilig für das Wasser angesehen werden müssen, indem dasselbe sich darin erwärmt und den unangenehmen und faulen Geschmack annimmt. Im Winter wird der Einfluss der grossen, offenen Bassins gerade ein entgegengesetzter, aber dessenohnerachtet eben so nachtheilig, indem das Wasser darin bis zum Gefrieren erkaltet. Aus diesen Gründen darf man sich von der Klärung des Wassers durch blosse Ruhe nicht zu viel versprechen, wenigstens nicht in dem Falle, wenn die beabsichtigte Reichhaltigkeit der zu speisenden Wasserleitung die Anlage sehr ausgedehnter Bassins erfordert; handelt es sich dagegen nur um kleinere Reservoire, die mit einer Verdachung versehen, oder wohl auch mit einem Gewölbe überspannt werden können, so verschwinden die erwähnten Nachtheile beinahe ganz.

Das Mittel, welches man nun anwendet, um die Klärung zu vervollständigen und die fremdartigen Theile, die im Wasser noch schweben, zu entfernen, sind die Filtrir-Apparate. Wenn dieselben im kleinen Maassstabe ausgeführt werden, so sind sie oft nicht nur mit Sand und Kies, sondern auch mit Schwämmen, porösen Steinen, Kohlen und andern Stoffen gefüllt und auch sonst ziemlich künstlich eingerichtet; die grossen Filtrir-Apparate dagegen, die mit Wasserleitungen in Verbindung stehen und dauernd im Gebrauche bleiben, sind viel einfacher angeordnet und bestehen nur aus grossen wasserdichten Bassins, in welchen eine Kies- oder Sandschüttung auf Gewölben oder Rosten ruht. Gemeinhin fliesst das Wasser von oben ein und bedeckt einen Fuss hoch, oder noch mehr die Sandschicht; indem es dieselbe von oben nach unten durchdringt, reinigt es sich und sammelt sich hierauf in dem erwähnten hohlen Raume über dem Bassin an, von wo es der Leitung zuströmt. Der grösste Uebelstand bei dieser Einrichtung ist der, dass die erdigen Stoffe, welche das Wasser enthält, nach und nach die Zwischenräume zwischen den Sandkörnchen anfüllen und dadurch dem Filter die Eigenschaft entziehen, das Wasser durchzulassen. Auf solche Art werden die Filtrir-Apparate immer unwirksamer, und sie versagen endlich ganz den Dienst, wenn man sie nicht von Zeit zu Zeit reinigt, indem man die Sandschüttung herausnimmt und sie durch eine

neue ersetzt; da dieses aber besonders bei grossen Apparaten mit bedeutenden Kosten verbunden ist, so hat man auch versucht, eine Vorrichtung zum Selbstreinigen des Filters anzubringen, oder eine Strömung in der entgegengesetzten Richtung zu bewirken. Die Erdtheilchen, welche nämlich ursprünglich im Wasser schwebten und von demselben in die Zwischenräume des Sandes hineingezogen wurden, bis sie irgendwo nicht weiter dringen konnten und daselbst stecken blieben, verursachen eine Verstopfung in der Richtung der bisherigen Bewegung des Wassers, und wie die genauere Untersuchung zeigt, so wird der Sand nur bis zu einer sehr geringen Tiefe mit Erdtheilchen durchzogen, weiter aber behält er vollständig seine Reinheit. Wenn man sonach das Wasser von unten in das Filter eintreten und es mit einigem Drucke gegen dasselbe wirken lässt, so werden die feinen Stoffe, die zwischen den Sandkörnchen stecken geblieben waren, auf demselben Wege wieder zurückgedrängt werden können, und wenn dieses Anfangs auch langsam geschieht, so nimmt die Strömung bei der allmäligen Wiedereröffnung der Zwischenräume doch an Wirksamkeit zu, und in kurzer Zeit ist die Reinigung sehr vollständig erfolgt, was man daran erkennt, dass das Wasser klar abfliesst. Sobald dieser Zeitpunkt eingetreten ist, so wird die Zuleitung des Wassers wieder gewechselt und man lässt es, wie früher, von oben einfliessen.

Diese Einrichtung hat zuerst der bereits erwähnte Ingénieur Thom zu Greenock angegeben und ebendaselbst in Ausführung gebracht.*) Er legte drei Filtrir-Bassins an, jedes 50 Fuss lang, 12 Fuss breit und 8 Fuss hoch, die so eingerichtet waren, dass das zu filtrirende Wasser beliebig von oben oder von unten eingeleitet werden konnte. Das Sandbette, bestehend aus feinem, gehörig ausgewaschenen Kiessande, hatte eine Höhe von 5 Fuss, es befand sich darin noch eine andere Substanz, die nicht näher bezeichnet wird, die aber den Zweck hatte, dem Wasser die geringe Färbung und den unangenehmen Beigeschmack, der von seiner Ansammlung in Moorgegenden herrührte, zu benehmen;

*) Vergl. den Brief desselben vom 20. März 1829, der in den *Annales des ponts et chaussées*, 1831. I. *p.* 222., in einer Uebersetzung mitgetheilt ist.

wahrscheinlich war diese Substanz nichts anderes, als eine Schicht von Holz- oder Knochenkohlen. Thom sagt, dass das Wasser vollkommen klar, farblos und von reinem Geschmacke abfloss. Mit der Zeit wurde indessen die Wirksamkeit des Filters aus dem oben angeführten Grunde geschwächt, und alsdann verschloss man die Ableitungsröhre am Boden des Bassins und liess das Wasser nicht mehr von oben, sondern von unten eintreten und zwar unter einem etwas verstärkten Drucke. Es quoll ein sehr trübes Wasser an der Oberfläche des Filters hervor, man leitete dieses durch eine besondere Oeffnung ab, und die Reinigung ging so schnell von statten, dass schon nach wenig Minuten ganz klares Wasser erschien. Dann wurde Alles wieder in den ursprünglichen Zustand versetzt und das Filter zeigte sich eben so wirksam wie Anfangs. Es wird dabei aber vom Ingénieur Thom die Bemerkung gemacht, dass dieses Mittel zur Reinigung keineswegs als so vollkommen betrachtet werden dürfe, dass man hoffen könnte, dasselbe Sandbette immerwährend beizubehalten und auch jene Substanz, die dem Wasser den unreinen Geschmack nimmt, von Zeit zu Zeit erneut werden müsse, dass aber dennoch diese Einrichtung einen weit sicherern Erfolg und zwar mit geringeren Kosten verspräche, als man auf andere Art erreichen könnte.

Ob diese Erwartungen sich vollständig gerechtfertigt haben, ist kaum anzunehmen, da man in neuerer Zeit ziemlich allgemein in England anderen Einrichtungen den Vorzug giebt; und schon vor zehn Jahren, als eine Commission, deren Mitglied Telford war, die bestehenden Filtrir-Apparate behufs der Chelsea-Wasserleitung bei London untersuchte, berichtete dieselbe über das beschriebene System nicht vortheilhaft; sie sagte, dass aufwärts und seitwärts gerichtete Strömungen das Bette in Unordnung brächten und eine gründliche Reinigung desselben unmöglich machten, und dass alle Versuche zur Anbringung entgegengesetzter Strömungen theils unwirksam und theils unpassend und kostbar wären. *)

Um ein Beispiel von der erwähnten Einrichtung mitzutheilen, wähle ich die Filtriranstalt, die man in neuerer Zeit bei Couchin ohnfern Cherbourg erbaut hat, um das Wasser der Divette, bevor es nach dem Arsenale und der Stadt Cherbourg geleitet wird,

*) *Life of Telford.* London 1838. *p.* 645.

zu reinigen. Fig. 83 *a* zeigt den Querschnitt durch die Mitte des Gebäudes und Fig. 83 *b* einen horizontalen Durchschnitt, genommen in der Höhe der Sohle des Zuleitungscanals. *) *AB* ist der Zuleitungscanal; er führt das zu reinigende Wasser nach dem Filter *C*, und wenn es dieses passirt hat, so verbreitet es sich in die beiden Bassins *D* und *E*. Letztere stehen durch die überwölbte Oeffnung *F* unter dem erwähnten Canale mit einander in Verbindung und speisen die Röhrenleitung *G*. In dem Querschnitte sind die verschiedenen Wasserstände so gezeichnet, wie sie bei hohem Wasser sich bilden, und in diesem Falle geht die Strömung des zu filtrirenden Wassers von unten nach oben. Das Filter befindet sich in einem am Boden und an den Seiten ausgemauerten Bassin. Auf sieben Unterlagen, die der Länge nach durchreichen, liegen die Roststäbe, welche den groben Kies tragen, auf letzteren ist feinerer Kies und oben auf Sand geschüttet. Mit dem hohlen Raume unter dem Filter communicirt eine gusseiserne Röhre *J*, die am Boden des Zuleitungscanals dicht vor dessen Ausmündung abgeht, demnächst aber auch zwei kurze Röhren *H*, die zu den Bassins *D* und *E* führen. In den obern Theil des Filters, oder über dem Sandbette mündet unmittelbar der Zuleitungscanal, demnächst die beiden kurzen Röhren *K*, welche die Verbindung mit den Bassins *D* und *E* darstellen und endlich die Röhre *L*, welche den Anfang der Röhrenleitung *G* bildet. Wenn das Filter von unten gespeist wird, wie die Figur zeigt, so ist das Schütz *B* an der Ausmündung des Zuleitungscanals geschlossen und dagegen die Röhre *J* geöffnet, wodurch das trübe Wasser unter den Rost tritt. Indem nun die beiden Röhren *H* geschlossen sind, so muss das Wasser von unten nach oben das Filter durchdringen; es fliesst hier durch die Röhren *K* nach den beiden Reservoiren *D* und *E*, oder unmittelbar durch die Röhre *L* nach der Leitung ab. Im entgegengesetzten Falle, wenn der Wasserstand im Zuleitungscanale niedriger wird, so muss das Filter von oben gespeist werden, weil man sonst nicht

*) Vergl. *Sganzin Programme ou Resumé etc. Vol. I.* Ausgabe von 1838. Die daselbst gegebenen Zeichnungen sind zum Theil unvollständig, auch nicht ganz richtig, wesshalb ich einige Zusätze und Aenderungen daran angebracht habe.

den nöthigen Druck, um das Wasser hindurchzutreiben, darstellen könnte. Die Röhre *J* wird geschlossen und dagegen das Schütz *B* geöffnet. Ferner schliesst man die Oeffnungen *K* und die Mündung der Röhre *L*. Sobald das Wasser unter dem Roste anlangt, fliesst es durch die Oeffnungen *H* in die Reservoire *D* und *E* und aus diesen gelangt das Wasser durch die beiden Mündungen *M* nach der Röhrenleitung *G*. Die letzterwähnten beiden Mündungen führen auch aus den Reservoiren das Wasser ab, falls das Filter bei der Umkehrung der Strömung trübes Wasser liefert (welches durch besondere Ausgussröhren entfernt wird), oder falls das Filter wegen Reparaturen ausser Thätigkeit gesetzt wird.

Wenn man eine Wasserleitung mit Flusswasser speist und dieses reinigen will, so kann man die Sandablagerungen, welche bei Flüssen mit unbefestigten Ufern gemeinhin neben deren Bette liegen, als natürliche Filter benutzen, und es genügt, darin eine Vertiefung zu bilden und selbige auszupumpen, so wird das zudringende Wasser beim Durchgange durch den Sand filtrirt werden. Dieses Verfahren, welches eigentlich bei allen Brunnen in Anwendung kommt, die in sandigem Boden das Grundwasser sammeln, hat man mehrfach auch zum Filtriren grösserer Wassermengen benutzt, und namentlich ist dieses bei Glasgow geschehen. Am Ufer des Clyde, und zwar in einer vortretenden Sandbank, wurden, wie Matthews angiebt, etwa 30 Stück cylindrische horizontale Röhren von 2 Fuss lichtem Durchmesser und in 33 Fuss Abstand von einander in Ziegeln, jedoch ohne Mörtel ausgeführt und mit Kies und reinem Sande beschüttet. Diese Röhren oder Gewölbe standen sämmtlich mit einer querlaufenden Gallerie in Verbindung, welche die gusseiserne Saugeröhre der Dampfmaschine speiste. Der Erfolg entsprach freilich Anfangs nicht den Erwartungen, und zwar war der Uebelstand der, dass eine Menge Sand in die Pumpen trat und sie undicht machte. Nichts desto weniger ist die Methode doch dauernd hier beibehalten worden und der erwähnte Uebelstand scheint auch vollkommen beseitigt zu sein; es zeigte sich aber, dass das Wasser, wenn es Anfangs auch in hinreichender Menge durchdrang, dennoch mit der Zeit abnahm, indem dieses natürliche Filter sich ebenso wie die künstlichen verstopfte und alsdann eine weitere Ausdehnung desselben nöthig wurde, um den Bedarf an einer andern Stelle zu sammeln.

Diese Ansicht hat namentlich Thom in dem oben angeführten Briefe entwickelt, in welchem er die Vortheile seiner Erfindung mit der abwechselnden Strömung darstellt. Soviel ist gewiss, dass man bei einem Filter, welches neben dem Flusse in einer Sandschelle eingerichtet wird, nicht mit voller Sicherheit auf eine weit ausgedehnte Wirksamkeit desselben rechnen darf, indem die Veranlassung zur Störung des Effects auch hier vorhanden ist, und es mögen auch Beispiele vorgekommen sein, welche zeigen, dass ein solcher Zeitpunkt bald eintreten kann; nichts desto weniger muss man aber nicht unbeachtet lassen, dass die Ausdehnung der Sandmasse, und namentlich die Ausdehnung der vom Flusse berührten Oberfläche, sehr viel grösser ist, als bei allen künstlichen Filtern, und man kann daher wohl annehmen, dass eine Unterbrechung der Wirksamkeit hier viel später erfolgen wird als sonst. Die Localverhältnisse üben indessen hierauf einen sehr wesentlichen Einfluss aus; es kann geschehen, dass der Fluss gerade an der Sandschelle Alluvionen erzeugt, die nicht mehr sandig, sondern thonhaltig sind. In diesem Falle muss das Filter, ganz abgesehen von den Folgen seiner Benutzung, schon durch diese Ueberdeckung unbrauchbar werden; dagegen kann der Fluss auch wieder gar keine Alluvionen an dieser Stelle machen und vielleicht greift er sogar die Sandschelle an, wodurch die verstopfte Sandlage entfernt und eine allmälige Versetzung der Zwischenräume des Sandes ganz verhindert wird. Endlich kommt die Entfernung des Sammelbassins oder des künstlichen Quelles vom Flusse auch in Betracht; je grösser sie ist und je tiefer man den Wasserspiegel in diesem Bassin senkt, um so weniger darf man wohl ein baldiges Versiegen befürchten.

Diese Umstände mögen zeigen, dass einzelne Erfahrungen über die Dauer der Wirksamkeit der Filter dieser Art im Allgemeinen nichts beweisen können, wenn nicht die nähern Umstände über die Beschaffenheit des Locales und die Lage der Filter zugleich mitgetheilt werden. In den englischen Schriften sucht man vergebens solche Mittheilungen, dagegen hat d'Aubuisson in dem oben angeführten Aufsatze *) über die Wasserleitung zu Toulouse das Locale, worauf die Filter eingerichtet wurden, und die

*) *Annales des ponts et chaussées.* 1838. S. 273 ff.

dabei gemachten Erfahrungen so sorgfältig und vollständig beschrieben, dass ein Auszug aus demselben besonders lehrreich sein wird.

Dicht oberhalb des Maschinengebäudes befindet sich am linken Ufer der Garonne neben der Strasse Dillon eine ausgedehnte Kiesbank, welche zur Darstellung der Filter benutzt ist; Fig. 84 zeigt dieselbe. Sie ist seit einigen funfzig Jahren entstanden und besteht grösstentheils aus Kies und Sand, doch finden sich darin auch grössere Geschiebe und hin und wieder thonige Niederschläge vor. An der Stelle, wo das Filter I später angelegt wurde, hatte man versuchsweise eine Grube ausgehoben und die Wassermenge gemessen, welche dieselbe lieferte, man erwartete darnach, dass ein Filter von 105 Fuss Länge 73 Fuss Breite und das bis $3\frac{1}{4}$ Fuss unter den niedrigsten Wasserstand der Garonne herabreichte, die verlangten 200 Wasserzoll geben würde. Obgleich die Schlussfolge nicht ganz sicher war und sogleich in Zweifel gestellt wurde, so kam der Vorschlag dennoch zur Ausführung; man wagte dabei auch in der That nichts, da im Falle der Unzulänglichkeit eine weitere Fortsetzung immer vorgenommen werden konnte. So wurde mit der Darstellung des Filter I der Anfang gemacht. Eine gusseiserne Röhrenleitung führte das angesammelte Wasser vom Punkte *A* bei *B* und *D* vorbei nach dem Maschinengebäude *C*. Als man zu pumpen anfing, zeigte es sich, dass das Resultat wirklich sehr bedeutend unter dem erwarteten blieb, man hatte durchschnittlich kaum 60 Wasserzoll, aber das Wasser war rein und schön und behielt diese Eigenschaften auch dann, wenn die Garonne sehr trübe war. Um die Zuflüsse zu vermehren, gab man darauf dem Filter eine Ausdehnung von 344 Fuss und schloss es zugleich mit Deichen ein, um das höchste Wasser davon abzuhalten. Die Zunahme der Wassermenge entsprach jedoch keineswegs dieser Verlängerung und betrug kaum 30 Zoll, so dass man immer noch nicht die Hälfte von dem hatte, was man brauchte. Der Grund von der geringen Ergiebigkeit der Verlängerung des Filters lag augenscheinlich darin, dass die zuerst eröffnete Strecke schon ringsum das Wasser angesogen hatte und man also bei der weiteren Fortsetzung nicht mehr den stark durchnässten Boden, wie das erste Mal, antraf, sondern vielmehr einen solchen, der einen Theil seines Wassergehaltes schon früher abgegeben hatte.

Es trat mit der Zeit aber noch ein zweiter Uebelstand ein; das Wasser, welches das Filter lieferte, war Anfangs rein und klar gewesen. Im zweiten Jahre zeigte sich aber ein starker Pflanzenwuchs in dem offenen Bassin und das Wasser nahm davon schon einigen Beigeschmack an. Im dritten Jahre vergrösserte sich das Uebel auf eine sehr unangenehme Art, woran namentlich die grosse Hitze Schuld war. Die Pflanzen vegetirten aufs üppigste in dem Bassin, eine Entfernung derselben war unmöglich; Frösche und andere Thiere fanden sich in grosser Anzahl ein, und indem sie hier starben und faulten, so wurde das Wasser in dem folgenden Jahre ganz unbrauchbar. Eine Aenderung der ganzen Einrichtung war dringend nöthig, das Filter musste geschlossen werden. Auf d'Aubuisson's Rath wurde dasselbe so gut wie möglich gereinigt und am Boden ein überwölbter Gang in gebrannten Steinen, jedoch mit offenen Fugen, ausgeführt, worin das Wasser sich ansammeln sollte. Zur Seite desselben und darüber brachte man eine Schüttung von grossen Steinen an, die beinahe die ganze Höhe der Ausgrabung füllte; alsdann folgte eine Schicht kleinerer Steine, dann Kies und endlich trug man die Deiche wieder ab und füllte mit dem Sande, woraus sie bestanden, die Vertiefung vollends aus. So war die ursprüngliche Oberfläche wieder dargestellt und sie konnte in ihrer ganzen Ausdehnung wieder als Viehweide benutzt werden. Eine Beaufsichtigung des Filters, die früher nothwendig gewesen war, wurde auf solche Art gleichfalls entbehrlich, denn dasselbe war ganz abgeschlossen, doch führte bei *A* eine Treppe herab und hier konnte man den Zustand und die Wirksamkeit jederzeit beobachten. Die Resultate dieser Abänderung waren höchst befriedigend; das Wasser nahm seine frühere Klarheit und Frische wieder an und hat dieselbe seitdem immer behalten; selbst während der heissesten Zeit erreicht es keine höhere Temperatur als etwa 13 Grad Réaumur, und im Winter 1830, nachdem es 25 Tage hindurch stark gefroren hatte, zeigte es immer noch 6 Grade über dem Gefrierpunkte. Die gesammten Kosten für die Anlage und die Abänderungen dieses Filters beliefen sich auf 44700 Francs, doch meint d'Aubuisson, dass es für die halbe Summe gleich in seiner letzten Gestalt hätte eingerichtet werden können.

So günstig das erreichte Resultat in gewisser Beziehung auch war, so genügte es in anderer doch lange nicht; man brauchte 200 Wasserzolle und hatte deren noch nicht 100. Statt nun aber auf dem bereits mit Glück verfolgten Wege weiter fortzufahren, so schenkte die städtische Behörde nunmehr einer andern Ansicht ihr Vertrauen. Ein Brunnenmacher behauptete nämlich, dass die Ausführung einer Reihe Brunnen, die mit einander in Verbindung gesetzt wären, weit günstigere Resultate geben würde. Ob man solche Brunnen, oder eine zusammenhängende Gallerie baute, konnte wohl im Wesentlichen keinen Einfluss haben; nur die Kosten vermehrten sich durch diese Aenderung, wichtig war aber die Entfernung vom Strome, in welchen man das Filter anlegen sollte; das erste war durchschnittlich 15 Ruthen entfernt, und die Erfahrung hatte gezeigt, dass dieses genügte. Es blieb ungewiss, ob man ohne Nachtheil näher gehen dürfte, und da man dieses voraussetzte, so verlegte man das neue Filter, wie die Figur zeigt, zwischen *D* und *E* in einem Abstande von etwa 3 Ruthen vom Flusse. Der Municipalrath bestätigte im Anfange des Jahres 1827 dieses Project. Auf eine Länge von 24 Ruthen wurden, nachdem ein Graben hier eröffnet war, 11 Brunnen versenkt, deren oberer Rand etwa 4 Fuss unter dem Boden lag. Man verband sie untereinander durch gusseiserne Röhren, bedeckte sie mit gusseisernen Platten und überschüttete Alles mit Kies. Das Wasser dieses zweiten Filters vereinigte sich bei *D* mit dem des ersten und beide wurden zusammen nach den Pumpen geführt. Die Kosten dieser neuen Einrichtung beliefen sich auf etwa 27000 Francs, die Resultate waren aber in jeder Beziehung ungenügend. Man gewann nicht mehr als 60 und höchstens 80 Wasserzoll, und das Wasser hatte einen modrigen Geschmack, indem die Brunnen zum Theil in einem schlammigen Boden versenkt waren. Das Uebelste war aber, dass das Wasser immer beinahe die Temperatur des Flusses annahm und zwischen 17 und 2 Graden Réaumur wechselte. Die grosse Wärme verursachte wieder, obgleich der Zutritt der Luft und des Lichtes abgeschlossen war, einen starken Pflanzenwuchs und zwar von feinen Wasserpflanzen, die man durch dichte Drahtgewebe von den Leitungsröhren abzuhalten suchte, die aber wegen ihrer Feinheit dennoch das Wasser mit kaum sichtbaren

Fäden anfüllten. Ein anderer Uebelstand war der, dass die Röhren bei der geringen Strömung, die in ihnen statt fand, und bei der höheren Temperatur stark rosteten; der Eisengehalt des Wassers färbte den Marmor in den Bassins und in den decorirten Springbrunnen und fliessenden Brunnen. So war dieses zweite Filter in jeder Beziehung nachtheilig ausgefallen. Man wollte es ganz eingehen lassen, doch waren einige Stimmen dafür, es noch beizubehalten und nur die eisernen Röhren mit steinernen zu verwechseln.

Die Anlage eines dritten Filters war nicht zu umgehen und man entschloss sich im Anfange des Jahres 1829 dazu und gab ihm nicht nur die Ausdehnung, um den noch fehlenden Bedarf von 40 bis 50 Wasserzoll zu decken, sondern richtete es gleich so ein, dass es allein durchschnittlich 160 Zoll wirklich lieferte und man also für den gewöhnlichen Gebrauch das zweite Filter entbehren konnte. Man berücksichtigte bei seiner Darstellung nur die Erfahrungen, die man beim Filter I gemacht hatte. Es ist von *F* bis *G* 66 Ruthen lang, 8 bis 13 Ruthen vom Strome entfernt; seine Sohle liegt 3 Fuss 8 Zoll unter dem niedrigsten Wasserstande. Fig. 85 zeigt das Profil des Filters; die Gallerie, worin sich das Wasser sammelt, ist 4 Fuss 9 Zoll hoch und 1 Fuss 11 Zoll weit; ein Knabe kann also noch hineingehen und die nöthigen Reinigungen vornehmen. Die Seitenmauern bestehen aus Ziegeln, die ohne Mörtel nur im Verbande übereinander gelegt sind; Steinplatten bedecken die Gallerie von oben. Der Raum zur Seite ist mit gereinigten grossen Steinen ausgefüllt; darüber ist 2 Fuss hoch grober Kies geschüttet und das Ganze bis zur ursprünglichen Höhe mit Sand bedeckt. Die Oberfläche wurde gleich mit Grassamen besäet. Das Wasser dieses dritten Filters kann bei *B* mit dem des ersten vereinigt werden, es kann aber auch bei *K* vorbei besonders zum Maschinengebäude *C* gelangen. Castel machte später noch die sehr vortheilhafte Abänderung, dass er unter der letzten Zuleitung in einem überwölbten Canale das Wasser des zweiten Filters von *D* nach *L* in das Unterwasser des Betriebsgrabens führte. Hierdurch wird es möglich, ohne dass man eine künstliche Ausschöpfung vornehmen darf, die beiden Filter I und II trocken zu legen; man kann aber auch das Wasser des Filters III nach dem Unter-

wassergraben abführen und sonach entweder alle drei Filter oder jedes einzelne derselben beliebig trocken legen, während die andern unterdessen die Pumpen versehen. Das Wasser dieses dritten Filters ist, so lange die Garonne in ihrem Bette bleibt, vollkommen rein und klar, nur wenn sie die Sandbank überströmt und dabei sehr trübe ist, so wird das hier filtrirte Wasser auch etwas trübe. Glücklicher Weise wird alsdann aber gerade das erste Filter sehr ergiebig, auf welches der hohe Wasserstand nicht gleichen Einfluss ausübt, und man lässt das Wasser des dritten Filters gar nicht zur Maschine gelangen und giesst es unmittelbar in das Unterwasser. Ein anderer Uebelstand ist der, dass sich auch hier zum Theil jene feinen Pflänzchen bilden, von denen beim Filter II die Rede war. Das dritte Filter nebst der Leitung nach dem Unterwasser kostete 68000 Francs.

Im Ganzen kann man die Anlage dieser Filter als gelungen ansehen; der Bedarf ist überreichlich gesichert, man hat die Gelegenheit, ohne eine vollständige Unterbrechung des Dienstes die von Zeit zu Zeit nöthig werdenden Reinigungen vorzunehmen. Das Wasser ist vollkommen klar, und selbst dann, wenn die Garonne in eine Schlammmasse verwandelt zu sein scheint, behält es seine volle Reinheit. Besonders wichtig ist eine Bemerkung d'Aubuisson's, die ich hier in wörtlicher Uebersetzung folgen lasse: „Ich füge hinzu, dass man seit der Benutzung unserer Filter, „und dieses ist für das erste 14, für das zweite 12 und für das „dritte 9 Jahre her, keine Abnahme in der Güte und Menge des „Wassers bemerkt hat; die Beschaffenheit desselben hat sich „sogar verbessert, und was die Quantität anbetrifft, so wiederhole „ich es, dass man kein Zeichen einer Abnahme wahrgenommen „hat, der Dienst geschieht heute noch ebenso wie im Anfange."

Schliesslich ist aber noch zu erwähnen, dass man für den möglichen Fall eines Abbruches der Sandbank, worauf die Filter liegen, schon zum Voraus die Projecte zu künstlichen Filtern entworfen hat.

Es bleibt noch übrig, von derjenigen Methode des Filtrirens zu sprechen, wo das zu reinigende Wasser das Filter beständig in der Richtung von oben nach unten durchströmt. Diese Anordnung, welche in gewisser Beziehung die natürlichste und einfachste ist, wird in England am häufigsten angewendet, und

die grossen Vortheile, die sie gewährt, bestehen darin, dass die verschiedenen Schichten des Filters am wenigsten vom Wasser in Unordnung gebracht werden und man überdies Gelegenheit hat, die Niederschläge, die das Wasser im feinen Sande absetzt, sobald es nöthig ist, zu entfernen und dadurch die dauernde Wirksamkeit des Filters zu sichern. In früherer Zeit, wo man von dem Grundsatze ausging, dass das Wasser zuerst durch groben Kies, dann durch feinen und zuletzt durch Sand geführt werden müsste, um sich zuerst der gröberen und dann der feineren Stoffe zu entledigen, konnte der letzte Vortheil nicht wahrgenommen werden, weil die Sandschicht, die sich immer zuerst versetzte und dann jede Durchströmung unmöglich machte, so versteckt lag, dass bei einer vorzunehmenden Reinigung das ganze Bette ausgepackt werden musste. Durch einige Ruhe, die man dem Wasser vor seinem Eintritte in das Filter giebt, kann man indessen die gröbsten Stoffe schon entfernen, und so ist es der feine Sand allein, der die Filtrirung bewirkt; es kommt nur darauf an, ihn so sicher zu lagern, dass er weder durch die unmittelbar darauf gerichtete Strömung aufgespühlt, noch auch in die Ableitungsröhren geführt werden kann. Um die erste Bedingung zu erfüllen, so bemüht man sich, die Strömung möglichst zu mässigen; man lässt das Wasser in mehreren Oeffnungen und ohne viel Gefälle eintreten und bildet vorher die verschiedenen Furchen, damit nicht starke Hauptrinnen sich erzeugen können. Die andere Bedingung wird dagegen gewöhnlich schon dadurch erreicht, dass man den feinen Sand auf feinen Kies, diesen auf groben Kies und letzteren auf grössere Steine schüttet, so dass die nach und nach zunehmende Erweiterung der Zwischenräume eine Vermischung der Schichten und ein tiefes Eindringen des Sandes verhindert. Der letzte Zweck wird dadurch aber immer noch nicht vollständig erreicht werden, dagegen gelingt es durch Anwendung einer Schüttung von flachen und dünnen Körpern, den Sand vollständig zurückzuhalten, ohne dass dabei dem Wasser der Durchgang gesperrt wird. Es ist bereits erwähnt worden, dass der trockene Sand und ebenso auch der Sand, der im Wasser aufgeschüttet wird, eine bestimmte Neigung in den Seitenflächen annimmt; dieses geschieht aber auch, wenn er nicht vom Wasser bedeckt, sondern nur sehr stark damit durchzogen ist, und selbst in dem

Falle, wenn das Wasser ihn von oben nach unten oder seitwärts durchdringt. Man nehme eine Röhre, etwa den Glas-Cylinder einer Lampe, und befestige sie so, dass ihr unteres Ende ungefähr einen Zoll über einer horizontalen Glastafel schwebt. Schüttet man alsdann Sand hinein, so wird derselbe nicht nur die Röhre füllen, sondern, wenn er ganz trocken ist, auch einen abgestumpften sehr regelmässigen Kegel darunter bilden; die obere Grundfläche desselben ist die untere Oeffnung der Röhre und die untere Grundfläche stellt sich als Kreis auf der Glasscheibe dar, und zwar bestimmt sich ihre Grösse darnach, dass die Seiten des Kegels etwa 30 Grade gegen den Horizont geneigt sind. Nunmehr tröpfele oder giesse man Wasser in den Cylinder, jedoch so vorsichtig, dass nicht ein heftiger Stoss gegen den Sand ausgeübt, noch auch eine zu starke Strömung gebildet wird. Das Wasser durchzieht alsdann langsam den Sand, und sobald es den untern Kegel erreicht hat, so verwandelt dieser sich plötzlich in Triebsand und breitet sich zu einem viel flacheren Kegel aus. Nichts desto weniger gestaltet er sich eben so regelmässig, wie früher, und das ferner durchdringende Wasser bringt in ihm keine weitere Veränderung hervor. Selbst auf der ganz glatten Glastafel wird ausser dem Sande, der wegen der unvollständigen Benetzung auf dem Wasser schwimmt und der gleich Anfangs abgespühlt wird, kein Sandkörnchen weiter bewegt; das Wasser fliesst vollkommen klar ab. Die Seiten des jetzt gebildeten Kegels sind etwa 18 Grade gegen den Horizont geneigt.

Auf solche Art wird also trotz der sehr weit geöffneten Fuge zwischen dem Cylinder und der Glasplatte dennoch der Sand zurückgehalten, und man kann immer das Durchdringen des Sandes verhindern, wenn man dafür sorgt, dass jede Böschung, die unter allen horizontalen oder verticalen Fugen sich bildet, durch darunterliegende Flächen vollständig gestützt wird. Es würde sonach sehr leicht sein, aus flachen Steinen, die aber mindestens in drei Schichten aufgebracht sein müssten, einen Verband darzustellen, durch den kein Sandkörnchen durchdringen könnte, während das Wasser überall stark geöffnete Fugen fände. Man hat dieses Verfahren, soviel mir bekannt, noch niemals versucht, dagegen ist die Anwendung von Muschelschalen, welche Telford so sehr empfiehlt und als ein nothwendiges Erforderniss

betrachtet, um den feinen Sand zurückzuhalten, wesentlich nichts anderes; man überlässt es dabei nur dem Zufalle, dass wirklich alle jene Böschungen unterbrochen werden, während man wahrscheinlich viel sicherer dieses durch ein künstliches Verpacken und noch dazu von weit weniger Lagen erreichen könnte. Eine Verminderung der Höhe der Unterlage des Sandes hat aber den wesentlichen Vortheil, dass man dadurch eben so viel an Druckhöhe der Pumpen gewinnt, oder die erforderliche Kraft zur Bewegung derselben in gleichem Maasse sich vermindern darf. Diese Muschelschalen sind bereits seit 10 Jahren bei dem Filter der Chelsea-Wasserleitung bei London mit Vortheil angewendet worden; die ganze Einrichtung dieses Filters ist folgende: *)

Eine Dampfmaschine hebt das Themsewasser in zwei ausgemauerte Bassins, jedes von zwei preussischen Morgen Flächeninhalt; indem das Wasser hier in Ruhe kommt, so lässt es die gröbsten Unreinigkeiten zu Boden fallen und fliesst von der Oberfläche in kurze Canäle, die es nach den Filtern führen. Der Zufluss und Abfluss werden dauernd unterhalten, um einen vollständigen Stillstand des Wassers zu verhindern. Die Niederschläge füllen indessen die Bassins mit der Zeit stark an, so dass endlich eine Reinigung nöthig wird; für diesen Fall wird eins derselben ausser Thätigkeit gesetzt. Zum Filtriren sind wieder zwei Bassins eingerichtet, von denen das grössere 348 und das kleinere 237 Fuss lang ist, beide sind 178 Fuss breit. Ihr Boden besteht 18 Zoll hoch aus einem festen Lehmschlage, die Seitenmauern sind 12 Fuss hoch und durch Strebepfeiler gestützt; sie lehnen sich überdies an feste und mit Rasen bedeckte Umwallungen. Längs dem Boden der Filter sind Reihen von cylindrischen Canälen gemauert, nämlich im längeren liegen 9 und im kürzeren 11 solche parallel neben einander; vergl. Fig. 86, Taf. IX. Sie sind ungefähr 2 Fuss weit, aus doppelten Lagen von besonders geformten Steinen und zwar mit sehr weiten Fugen aufgeführt, so dass das Wasser ringsum frei eintreten kann; sie sind von allen Seiten mit kleinen Steinen oder grobem Kiese umgeben und damit beschüttet, hierauf ruht die 6 Zoll hohe Lage von Muschel-

*) Vergl. *Life of Telford, p.* 645; ferner *Matthews hydraulia, p.* 88, und *the Civil Engineer and Architects Journal* 1839. *p.* 341.

schalen, dann folgt gröberer und zuletzt sehr feiner Sand. Die ganze Stärke der Sandschicht beträgt 5 Fuss. Alle diese Schichten sind, ausser einer geringen Neigung nach der Länge, auch nach der Breite der Filter nicht horizontal, sondern wellenförmig abgeglichen, so dass sich zwischen den Canälen parallele tiefe Furchen bilden. Der Zweck davon ist der, das Wasser gleichmässig zu verbreiten und zu verhindern, dass es nicht etwa in einem einzigen Strome über das Filter fliessen möchte, wobei es auch die Oberfläche stark angreifen würde. In eine jede der so gebildeten Rinnen wird das Wasser aus dem Zuleitungscanale von den Klärungsbassins durch ein besonderes Ausgussrohr hineingeleitet, und damit es beim Eintritt den Sand der obern Schicht nicht fortspühlt, so stürzt es jedesmal zunächst in eine hölzerne Rinne von 3 Fuss Länge, 6 Zoll Breite und 3 Zoll Tiefe, und von hier fliesst es mit sehr wenig Gefälle in die Sandrinnen. Das Material zu allen diesen Schichten muss vor dem Gebrauche sorgfältig gewaschen und gereinigt werden.

Indem das Wasser das Filter bedeckt, zieht es sich nicht unbemerkt in den Sand ein, sondern es erfolgt ein Aufwallen, als ob die ganze Masse in einer Art von Gährung begriffen wäre. Auffallend ist es auch, dass im Innern eine Gasbildung statt findet und diese oft so stark wird, dass, wenn für deren Ableitung nicht gesorgt wird, sogar Explosionen eintreten und Theile von dem Filter herausgeworfen werden. In dieser Rücksicht versieht man die Filter dieser Art häufig mit Luftröhren, doch können die cylindrischen Canäle schon den Zweck derselben erfüllen, wenn sie am obern Ende mit offenen Canälen in Verbindung stehen. Am andern Ende vereinigen sich die Röhren gleichfalls in einen Canal, der gemeinschaftlich das gereinigte Wasser in ein folgendes Reservoir giesst, von wo es in die Röhrenleitung tritt.

Indem nun das Wasser von oben nach unten die verschiedenen Schichten durchdringt und in diesen die Zwischenräume an Grösse zunehmen, so erfolgt in den untern Schichten gar keine Absetzung von Unreinigkeiten und dieselben sind daher als Filter ganz unwirksam. In den Sand dringen die erdigen Theilchen im Maximum bis 6 und vielleicht 9 Zoll tief ein, doch ist der Absatz hier so geringe, dass er eine lange Zeit hindurch keine Reinigung nothwendig macht. Dagegen ist die Verunreinigung

des Sandes unmittelbar an der Oberfläche und bis zu ½ Zoll Tiefe sehr bedeutend, und sie würde das Filter bald unwirksam machen, wenn sie nicht häufig entfernt würde. Dieses geschieht nun alle vierzehn Tage, indem man auf 1 Zoll Tiefe den Sand abstreicht und ihn sogleich durch eine neue Lage ausgewaschenen Sandes ersetzt. Am stärksten stopft sich das Filter, wenn die Themse durch Regen oder schmelzendes Schneewasser stark anschwillt.

Das Quantum des filtrirten Wassers beträgt nach Telford auf 1 Acre Flächenraum täglich 3 bis 4 Mal Hundert Tausend Cubikfuss, und zwar richtet sich die Verschiedenheit allein nach dem Bedürfnisse, da das Filter die letzte Masse auch ohne Schwierigkeit liefert. Es giebt sonach der preussische Quadratfuss Oberfläche in 24 Stunden 9 Cubikfuss Wasser. Dieses Resultat schliesst sich sehr genau an dasjenige an, welches Génieys aus seinen Beobachtungen an der Filtriranstalt Boule-Rouge zu Paris herleitete *); er fand nämlich, dass der Quadratmeter Oberfläche in der Minute 2 Liter lieferte und dieses giebt nach der Reduction auf preuss. Maass täglich wieder für den Quadratfuss 9½ Cubikfuss. Aus der Vergleichung der Geschwindigkeit des abfliessenden Wassers mit der ganzen Druckhöhe folgerte Génieys noch, dass ein Theil der letzteren, der sehr nahe 20 Zoll gleich kam, seinen Einfluss auf die Geschwindigkeit verloren hatte und sonach dieses die Druckhöhe war, die das Durchdringen des Wassers durch das Filter bewirkte.

In der neuesten Zeit hat die Erfindung von Fonvielle in Paris sehr viel Aufsehen erregt, und sie ist nach dem Berichte, den Arago darüber erstattet hat, als eine neue und höchst wirksame Verbesserung zu betrachten. Da jedoch ein Patent dafür dem Erfinder ertheilt ist, so ist die Sache bisher nicht genauer bekannt geworden. Das Wesentliche scheint dabei zu sein, dass dieses Filter unter dem enormen Wasserdrucke von 70 Meter (223 Fuss) wirkt; es besteht aus einer Lage von Sand oder feinen Steinen und die Erfindung scheint sich vorzugsweise auf die Methode zu beziehen, wie diese Lage vor einem Verdrängen gesichert wird. Die Quantität des filtrirten Wassers soll bei gleicher Ausdehnung

*) *Annales des ponts et chaussées.* 1835. I. *p.* 75.

der Filter überaus gross sein, doch fehlen darüber zur Zeit noch die nähern Angaben. Ausserdem ist hier wieder die Einrichtung gewählt, dass man den Strom willkührlich umkehren und dadurch die Reinigung vornehmen kann; endlich wird aber auch noch davon gerühmt, dass die grosse Druckhöhe keineswegs beim Filtriren verloren wird, sondern das austretende Wasser beinahe eben so hoch wieder aufsteigt. Nach Allem, was man sonst über die Bewegung des Wassers weiss, sollte man glauben, dass eine Wahrnehmung dieses Vortheils den ganzen Einfluss der grossen Druckhöhe auf das Filter aufheben musste.

§. 22.

Leitungsröhren von Holz, Stein und Blei.

Nachdem das Wasser angesammelt, und soweit dieses nöthig, auch gereinigt ist, so lässt man es in die Leitungsröhren treten, die es nach seinem Bestimmungsorte führen. Diese Röhren bestehen, wenn die Anlage weder eine grosse Ausdehnung, noch sonstige Wichtigkeit hat, aus Holz, mitunter aus Stein und zuweilen auch aus Blei. Sie sind jedoch im letzten Falle so kostbar, dass man heut zu Tage nicht leicht einen langen Röhrenstrang aus diesem Materiale darstellen wird, doch kommen kurze Verbindungsröhren und sehr schwache Abzweigungsröhren aus Blei noch immer vor und ihre Biegsamkeit gewährt eine sehr grosse Bequemlichkeit; hat dagegen die Leitung den Zweck, einen grössern Ort mit Wasser zu versehen, und ist sie für alle ökonomische Verhältnisse so wichtig geworden, dass eine Unterbrechung im Dienste gar nicht eintreten darf, so muss ein Material gewählt werden, welches theils an sich dauerhafter ist und welches theils auch gestattet, alle Nebentheile der Leitung, wie Hähne, Ventile, Luftspunde und dergleichen mit genauem und sicherm Schlusse anzubringen. Dieses ist nach den bisherigen Erfahrungen allein beim Gusseisen der Fall, und da dasselbe bei der Vervollkommnung des Gusses auch in sehr geringer Wandstärke und sonach für mässige Preise dargestellt werden kann, so wird es gegenwärtig bei wichtigeren Anlagen wohl ausschliesslich benutzt.

Bei sämmtlichen Röhrenleitungen kommt es nicht nur darauf an, dass die einzelnen Röhren gehörig fest sind, um dem stärksten

Wasserdrucke, dem sie ausgesetzt sein können, zu widerstehen, und dass sie gehörig schliessend mit einander verbunden werden, sondern man muss ausserdem auch dafür sorgen, dass der Querschnitt an keiner Stelle weder durch eine Absetzung von Sand und andern Stoffen, noch auch durch Luft ganz gesperrt oder stark verengt werde. Eine Leitung, welche abwechselnd steigt und fällt, wie Fig. 87 zeigt, ist beiden Uebelständen unterworfen. Wenn sich das Wasser in der mit dem Pfeile angedeuteten Richtung bewegt, so wird es beim ersten Eintreten in die Röhre die Luft vor sich herschieben und dieselbe aus dem ersten ansteigenden Theile ganz entfernen. In dem Scheitelpunkte *A* wird es aber anfangen über den Boden zu fliessen und dadurch sich weiter verbreiten und sogar an der tiefsten Stelle bei *B* den ganzen Querschnitt der Röhre anfüllen, ohne dass die davor eingeschlossene Luft entfernt wäre. Letztere nimmt oft einen sehr grossen Theil des Profiles ein und das darunter fliessende Wasser kann sie nicht mit sich reissen, weil sie trotz der Compression doch immer sehr viel leichter als dieses bleibt und sonach nicht von der höchsten Stelle zu entfernen ist; bei eintretender Hitze dehnt sich die eingeschlossene Luft stark aus, und hierdurch erklärt sich die Erscheinung, dass manche Röhrenleitungen unerachtet einer gleichen Höhe im Speisebassin bei kalter Witterung mehr Wasser geben, als während der Wärme. Es erfolgt indessen eine ähnliche und eben so nachtheilige Ansammlung von Luft, wenn die Röhre auch viel weniger geneigt ist, als nach dem gezeichneten Profile, und selbst in den fast horizontalen Strecken haften oft die Luftbläschen mit grosser Zähigkeit an der obern Wand der Röhre und verursachen daher selbst hier ähnliche Verengungen. Diese Luft ist aber keineswegs allein diejenige, welche ursprünglich die Röhre anfüllte, sondern aus dem Wasser scheiden sich häufig Gasarten ab, und zuweilen ist die Mündung der Röhrenleitung auch so eingerichtet, dass nicht nur Wasser, sondern auch Luft geschöpft wird. Man muss daher dafür sorgen, dass nicht nur beim ersten Eintreten des Wassers in die Röhrenleitung, sondern auch während ihrer Wirkung die Luft an einzelnen Stellen aufgefangen wird und hier entweichen kann. Am einfachsten wird dieses dadurch erreicht, dass man auf die Scheitelpunkte senkrechte Röhren, oder sogenannte Luftröhren oder Luftspunde

aufstellt, die immer offen bleiben. Damit sie indessen kein Wasser ausgiessen, so müssen sie bis über das Niveau des Speisebassins heraufgehen und dieses ist oft nicht leicht zu erreichen, und noch häufiger verbietet eine solche Einrichtung sich dadurch, dass man an der Stelle, wo sie angebracht werden sollte, sie vor zufälligen und muthwilligen Beschädigungen nicht gehörig sichern kann. Man bringt daher gewöhnlich andere Vorkehrungen zu diesem Zwecke an.

Wenn ferner das Wasser nicht ganz rein ist, so scheiden sich daraus noch immer erdige Stoffe ab, die sich vorzugsweise in den niedrigsten Stellen der Röhrenleitung wie hier bei *B* ansammeln. Wenn aber dieser Niederschlag auch nur sehr langsam erfolgt, so kann er mit der Zeit doch nachtheilig werden, und man muss daher für ein Mittel sorgen, um einer zu grossen Ausdehnung desselben vorzubeugen. Dieses geschieht entweder durch die Anbringung sogenannter Wechselhäuschen oder Schlammkasten, oder durch Ausgussröhren. Das erste sind Kasten, welche in der Röhrenleitung liegen und eine Erweiterung derselben bilden; sie müssen an den Seiten und am Boden wasserdicht dargestellt und ebenso auch mit den ein- und ausmündenden Röhren verbunden werden. Indem das Wasser in sie hineintritt, so durchströmt es das sehr erweiterte Profil, welches der Kasten im Vergleich zur Röhrenleitung bildet, mit einer viel geringeren Geschwindigkeit, und daher lässt es besonders hier alle erdigen Theilchen niedersinken, die es noch mit sich führte. Auf solche Art sammelt sich also der Niederschlag, der sonst die Röhre zum Theil sperren würde, in diesem Kasten an, wo das Profil so weit ist, dass die Wirksamkeit der Leitung nicht sobald beeinträchtigt wird. Aber gerade hier ist auch die Reinigung wegen der Zugänglichkeit des Kastens besonders leicht; sobald der Deckel entfernt ist, kann man mittelst eines Handbaggers, oder wenn die Leitung ausser Thätigkeit gesetzt ist, durch Ausschöpfen und Ausgraben die Reinigung vollständig bewirken; nur die ungesunde Luft, die sich aus dem Schlamme entwickelt, setzt zuweilen dieser Reinigung grosse Hindernisse entgegen. Ein Haupterforderniss ist es indessen hierbei immer, dass solche Anlagen nur da vorkommen dürfen, wo sie keinem starken Wasserdrucke ausgesetzt sind, weil sie sonst nicht leicht

wasserdicht geschlossen werden können. Sie finden daher ihre Stelle nur an den höchsten Theilen der Leitung, doch keineswegs an den niedrigsten, wo gerade die Absetzung von Materialien besonders verhindert werden muss. Hierdurch beschränkt sich ihre Anwendbarkeit ungemein und sie gewähren eigentlich nur da einen Vortheil, wo die Röhrenleitung auf einem horizontalen oder sanft abfallenden Terrain geführt ist. Bei neueren Wasserleitungen fehlen sie auch gewöhnlich ganz und statt ihrer sind die Ausgussröhren angebracht. Indem man nämlich den Röhrenstrang möglichst horizontal zu führen sucht, so wird bei undulirendem Terrain, wie dieses gewöhnlich vorkommt, auf der Höhe die Röhre tief versenkt und im Thale dagegen möglichst hoch gehoben werden, nichts desto weniger bildet sich dort ein höchster und hier ein tiefster Punkt; letzterer liegt aber über der Thalsohle, und von diesem Umstande hat man den Vortheil gezogen, hier einen Ausguss anzubringen, der ohne Schwierigkeit das Röhrenwasser abführt. Sobald der Hahn geöffnet wird, bildet sich sogleich in der nächsten Umgebung der Röhre eine sehr starke Strömung, wodurch der Niederschlag, der gerade hier sich vorzugsweise absetzte, in Bewegung gebracht und fortgeführt wird. Diese Ausgüsse und ebenso die Schlammkasten haben übrigens noch den Nutzen, dass man bei vorkommenden Verstopfungen durch sie leicht entdecken kann, an welchem Theile der Leitung die Sperrung vorgekommen ist.

Endlich muss bei Gelegenheit des Längenprofiles der Röhrenleitung auch noch bemerkt werden, dass man bis zu keinem Punkte heraufgehen darf, der höher liegt als das Speisebassin. Man könnte zwar, indem man die Röhre in einen Heber verwandelt, noch eine gewisse grössere Höhe damit erreichen, indessen darf bekanntlich an solcher Stelle kein Ausfluss angebracht werden, man gewinnt also nicht viel; und überdies tritt der Uebelstand ein, dass dieser Theil der Röhre sich nicht mehr von selbst anfüllt und er beim jedesmaligen Einlassen des Wassers durch eine besondere Pumpe vollgegossen werden muss. Es giebt nur wenige Beispiele dafür, dass man dieser Umstände ohnerachtet den Heber in Anwendung gebracht hat, und zwar ist es dann immer nur geschehen, um über den Erddamm oder die Mauer, welche unmittelbar das Speisebassin einschliesst, das Wasser

herüber zu leiten, ohne dieselbe durch eine Oeffnung zu schwächen; in grösseren Röhrenleitungen kommt aber auch selbst dieses nicht leicht vor.

Der Horizont des Wasserspiegels im Speisebassin bezeichnet aber keineswegs diejenige Höhe, die man beliebig mit der Röhre erreichen darf; die Ausflussmündung muss jedenfalls niedriger liegen, denn sonst würde alles Gefälle fehlen und gar keine Bewegung eintreten, aber auch in der Mitte der Leitung darf kein Punkt jene Höhe erreichen, oder ihr auch nur nahe kommen, weil sonst die Röhre gar nicht, oder doch nur überaus langsam sich mit Wasser anfüllt. Hierher gehören die Fälle, in welchen mehrere Tage und selbst Wochen vergehen, bevor die Röhre in volle Wirksamkeit tritt, wie dieses Bossut von einer Leitung bei Versailles anführt. Sonach müssen bei längeren Röhrenleitungen, die abwechselnd steigen und fallen, die aufeinanderfolgenden Culminationspunkte unter derjenigen geneigten Linie bleiben, welche das nöthige Gefälle bezeichnet. Andererseits können dagegen die tiefsten Punkte der Röhren sich zwar sehr weit von dieser Grenze entfernen; man muss indessen nicht ausser Acht lassen, dass ein starker Wasserdruck, wie er sich hier bildet, auch ein starkes Durchsickern der Fugen und bei hölzernen und steinernen Röhren auch eine schnelle Zerstörung derselben zur Folge zu haben pflegt. Sonach wird eine grosse Vorsicht in der Wahl der Röhren und in ihrer Zusammensetzung erforderlich, und bei schlechten Röhren muss man ebensowohl eine starke Senkung wie eine starke Steigung vermeiden, und man verlegt die Röhren am liebsten möglichst gleichmässig mit dem Gefälle, welches der beabsichtigten Geschwindigkeit entspricht.

Zur Darstellung hölzerner Leitungsröhren kann man fast jede Holzart benutzen, die gerade am wohlfeilsten zu beschaffen ist; Bedingung ist dabei vorzugsweise nur, dass die einzelnen Röhrenstücke nicht gar zu kurz ausfallen, indem jede Zusammensetzung nicht nur Kosten verursacht, sondern auch eine schwache und undichte Stelle in der Leitung abgiebt. Aus diesem Grunde eignet sich vorzugsweise hierzu dasjenige Holz, welches in recht geraden Stämmen vorkommt, also Kiefern und Lerchen. Sodann muss die Röhre auch dauerhaft sein und Festigkeit genug besitzen, um dem Wasserdrucke zu widerstehen; aus diesem Grunde

giebt man wieder dem festen Holze und demjenigen, welches viele harzigen Theile enthält, den Vorzug; Weiden- und Pappelholz wird wohl nie angewendet. Endlich ist eine Bedingung auch noch die, dass die Röhre dem Wasser keinen Beigeschmack geben darf, und aus diesem Grunde vermeidet man gern die Benutzung von Eichenholz; doch giebt es davon viele Ausnahmen und in Frankreich scheint dasselbe sogar vorzugsweise gewählt zu werden. Im Allgemeinen möchte sonach ausser dem Kiefern- und Lerchen- noch das Ellernholz sich besonders empfehlen.

Die Länge der einzelnen Röhrenstücke beträgt gewöhnlich zwischen 12 und 18 Fuss; über 20 Fuss kann man nicht leicht gehen, weil dann das Bohren schon zu schwierig wird, selbst wenn die Holzstücke eine grössere Länge gestatten sollten. Die Wandstärke hängt ausser der Festigkeit des Holzes auch von der lichten Weite des Bohrloches und von dem Wasserdrucke ab, wie dieses bei Gelegenheit der gusseisernen Röhren näher entwickelt werden wird. Man darf indessen die Wände einer hölzernen Röhre nicht auf die möglichst kleinsten Dimensionen reduciren, indem die Röhre während des Gebrauchs leidet und also durch eine sehr geringe Wandstärke ihre Dauer sehr beeinträchtigt werden würde. Gewöhnlich macht man die Wand dem Durchmesser des Bohrloches gleich; und da man letzteren aus den in §. 16 entwickelten Gesetzen unter Zugrundelegung einer bestimmten zu liefernden Wassermenge und des vorhandenen Gefälles entwickeln kann, so ergiebt sich hieraus, wie stark die Stämme sein müssen, welche man ausbohren will. Trifft es sich aber, dass die Röhre sehr tief unter das Speisebassin verlegt wird und sie also einem grossen Wasserdrucke ausgesetzt ist, so genügt die eben gegebene Regel nicht mehr; man muss der Wand in diesem Falle eine grössere Stärke lassen, und es ist dabei noch besonders darauf aufmerksam zu machen, dass es hier nicht allein auf den Wasserdruck ankommt, den das Piezometer, während die Leitung in voller Thätigkeit ist, anzeigen würde, sondern man muss auch den Fall berücksichtigen, dass unterhalb dieser Stelle eine absichtliche oder zufällige Sperrung eintreten kann und dann die volle Niveaudifferenz gegen das Speisebassin in Wirksamkeit tritt. Wenn aber die Sperrung plötzlich erfolgt, so vermehrt der Stoss der bewegten Wassersäule noch sehr beträchtlich diesen Druck.

Man pflegt hiernach die stärksten Röhren an solche Stellen zu verlegen, welche die tiefsten sind, während man die schwächeren noch in den höheren Theilen der Leitung benutzen kann.

Was die Dauer der hölzernen Röhren betrifft, so sollte man aus dem Umstande, dass sie nie trocken werden, auf einen sehr langen Zeitraum schliessen; es treten indessen manche andere Ursachen ihrer Zerstörung ein und namentlich leiden sie häufig durch den Schwamm, doch kann man der Entstehung und starken Verbreitung desselben durch ein sorgfältiges Verlegen noch vorbeugen, aber ausserdem zeigt es sich hier, wie in allen andern Fällen, wo Holz mit fliessendem Wasser in Berührung steht, dass ein vollständiges Verzehren eintritt. Es ist eine bekannte Erfahrung, dass, wenn man den Boden eines Wehrs, oder einer Freiarche, wenn derselbe auch fortwährend nass geblieben ist, nach einer Reihe von Jahren untersucht, man alsdann findet, dass die Zapfen gar nicht mehr die Zapfenlöcher füllen und alle Verbandstücke, soweit sie nicht ganz mit Erde umgeben waren, den genauen Schluss verloren haben; ebenso bemerkt man auch, wenn ein Pfahl ausgezogen wird, der etwa ein halbes Jahrhundert in einem Flusse steckte, dass der Theil, der über dem Bette vorragte, viel schwächer ist als der, welcher mit dem fliessenden Wasser nicht in Berührung gekommen war. Auf ähnliche Art wird auch das Holz in den Röhren angegriffen und vollständig verzehrt. Bei den Wasserleitungen in Prag vergrössert sich die Weite der Röhren in 6 Jahren um 3 bis 4 Zoll, und die Wandstärke vermindert sich dadurch so sehr, dass die Röhre nicht länger die nöthige Festigkeit besitzt und sonach in diesen kurzen Zwischenräumen schon die Erneuung vorgenommen werden muss. *) Namentlich bemerkt man dieses an Stellen, wo die Röhren dem starken Drucke von 80 Fuss ausgesetzt sind, und hierbei ist gewiss noch das Durchdringen des Wassers durch die Röhrenwand von grossem Einflusse. Da man nämlich das Holz gegen das Durchschwitzen des Wassers nicht sichern kann und am wenigsten bei den Leitungsröhren, wo eine so sorgfältige Auswahl wie etwa bei Schiffsplanken unmöglich ist, so wird dieses augenscheinlich durch den verstärkten Druck sehr befördert werden, und je heftiger

*) v. Gerstner, Handbuch der Mechanik. Prag 1832. Bd. II. S. 232.

die Strömung wird, um so stärker greift sie das Holz an. Aus diesem Grunde ist die Verlegung der hölzernen Röhren in einem Thonbette von der äussersten Wichtigkeit, und wenn dadurch das erste Durchdringen einer Wasserader durch die Röhre auch nicht verhindert werden kann, so findet das Wasser doch an dem Thone ein neues Hinderniss, das seinem ferneren Entweichen entgegentritt, und dadurch wird der Durchfluss durch das Holz, wenn auch nicht ganz gehemmt, so doch wenigstens sehr erschwert. Die hölzernen Röhren, welche früher das Wasser des New-River in London vertheilten, dauerten durchschnittlich 20 Jahre. Sie bestanden aus Ulmenholz. Sie waren aber so häufig schadhaft, dass man den Wasserverlust, den sie verursachten, im Mittel auf 25 Procent schätzte; dieses rührte zum Theil daher, dass man die entstehenden Lecke, die sich in der verminderten Ergiebigkeit zu erkennen gaben, nicht sogleich auffinden konnte und man oft Wochen lang die schadhaften Stellen suchen musste.

Zur Zusammensetzung der hölzernen Röhren wendet man am häufigsten die Fig. 88 *a* in der Seitenansicht und *b* im Durchschnitte dargestellte Verbindungsart an. Die Röhre wird conisch zugeschärft und zwar so, dass, wenn der Kegel ergänzt würde, seine Höhe mindestens noch einmal so gross als der Durchmesser seiner Basis wäre, und einen festeren Schluss erhält man noch, wenn man das Verhältniss beider Grössen, wie $2\frac{1}{2}$, oder auch wohl wie 3 zu 1 annimmt. Um das Aufspalten der Röhre zu verhindern, welche die conische Vertiefung erhält, wird ein eiserner Ring, der aber immer $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{2}$ Zoll stark sein muss, wenn er die nöthige Sicherheit gewähren soll, aufgetrieben; und um die gehörige Dichtung der Fuge hervorzubringen, wird theils ein Oelkitt vor dem Eintreiben auf den conischen Zapfen aufgetragen, oder noch besser ist es, da der Kitt auf dem nassen Holze schlecht haftet, jenen Zapfen mit getheertem Hanf oder getheerter Leinwand zu umwinden. Diese Verbindung kann man auch noch, wie Fig. 89 zeigt, bei der Anbringung von Seitenabzweigungen benutzen, und zwar ebensowohl, wenn dieselben unter einem rechten Winkel, als wenn sie etwas schräg abgehen.

Die conische Gestalt der Zapfen giebt hier häufig Veranlassung, dass die Röhren, sobald sie stark zu quellen anfangen,

sich auseinanderschieben, und zwar erfolgt dieses um so leichter, je stumpfer die Seite des Kegels gegen seine Axe geneigt ist. Man weicht diesem Uebelstande zuweilen ganz aus, indem man durch cylindrische Zapfen die Röhren ineinander greifen lässt, wie Fig. 90 im Durchschnitte zeigt. Die Stärke des Zapfens ist in diesem Falle gewöhnlich das arithmetische Mittel zwischen der ganzen Stärke und der lichten Weite der Röhre. Man schneidet den Zapfen so zu, dass er willig in das Zapfenloch hineingeht, dann umwindet man ihn mit getheerter Leinwand und treibt ihn ein. Bei der nachfolgenden Füllung mit Wasser fängt er an zu quellen und dann erst bildet sich der gehörig dichte Schluss; damit nun aber die mit dem Zapfenloche versehene Röhre nicht springt, so muss dieselbe wieder mit einem eisernen Ringe versehen sein. Die Länge des Zapfens beträgt 3 bis 4 Zoll.

Die beste Methode zur Zusammensetzung hölzerner Röhren ist die in Fig. 91 dargestellte. Man schneidet hierbei die Röhren an beiden Enden nur stumpf ab und treibt zwischen je zwei derselben eine eiserne, auf beiden Seiten zugeschärfte Büchse *A* hinein; damit diese indessen nicht etwa vorzugsweise sich in die eine Röhre hineinziehen möchte, so ist sie in der Mitte mit einem vorstehenden Rande versehen. Man macht diese Büchse häufig nur 3 Zoll lang, so dass sie in jeder Röhre nur etwas über einen Zoll eindringt, und giebt ihr auch wohl einen so kleinen Durchmesser, dass sie kaum einen Zoll vom Umfange des Bohrloches absteht. Beides ist zur Darstellung einer sichern Verbindung nicht genügend, und wo man einige Mehrkosten nicht scheuen darf, da lässt man die Büchse in jeder Seite 3, auch wohl 4 Zoll eingreifen und giebt ihr einen solchen Durchmesser, dass sie in die Mitte der Röhrenwand trifft. Ihre Stärke beträgt alsdann neben dem vorstehenden Rande ungefähr $\frac{1}{4}$ Zoll. Die Kosten für die Anschaffung solcher Büchsen sind freilich bedeutend, aber die Dauer derselben wird auch in hohem Grade vermehrt, so dass sie bei der wiederholten Auswechselung der Röhren mehrmals aufs Neue benutzt werden können. Ihre Anfertigung geschieht in der Art, dass zuerst schmale Ringe von gleicher Dicke gemacht werden; diese werden nun an den Seiten feiner ausgeschmiedet, um die beiden Schneiden darzustellen, und den mittleren erhöhten Rand bildet man endlich mit einem Hammer, der mit einem

Gesenke (einer vertieften Rinne von entsprechender Form) versehen ist. Es ist aber vortheilhaft, die Büchse auch im Innern, wie im Aeussern, etwas conisch abzuschrägen, wie dieses Fig. 92 zeigt. Um die Büchse einzusetzen, stellt man sie concentrisch mit dem Bohrloche auf die Stirnfläche der einen Röhre und treibt sie mit einem Hammer fast bis zu dem vorstehenden Rande ein, so dass derselbe etwa noch einen halben Zoll vom Holze entfernt bleibt. Hierauf wird die Büchse herausgezogen, was mittelst einer Brechstange, die unter den erwähnten Rand fasst, nicht schwer ist, und man treibt sie mit ihrer andern Seite in das folgende Röhrenstück ebenso weit ein; endlich wird die erste Seite wieder in den bereits gebildeten Spalt eingestellt und mittelst starker Schläge, die man an das Ende der zweiten Röhre führt, dringt die Büchse auf beiden Seiten bis zum Rande ein. Es darf kaum erwähnt werden, dass man sich hüten muss, die Schneiden durch das Aufschlagen zu beschädigen; man benutzt hierbei mit Vortheil einen eisernen Aufsetzer, der auf den Rand passt und die Schneide bedeckt. Bei dieser Methode ist eine Dichtung mit Hanf oder Leinwand ganz überflüssig, ebenso entbehrt man dabei die eisernen Ringe, die das Aufspalten der Röhren verhindern; auch an der Länge der ausgebohrten Röhren spart man etwas, indem keine Zapfen angeschnitten werden dürfen.

Wenn diese Büchsen an der einen Seite etwas verlängert werden, so kann man sie auch zur Darstellung von Abzweigungen benutzen, die unter einem rechten Winkel seitwärts austreten. Es wird zu diesem Zwecke die Seitenöffnung in hinreichender Grösse dargestellt, die Büchse hineingetrieben und mit eingeschlagenen Holzkeilen gedichtet, während sie auf der andern Seite in der beschriebenen Art in das Hirnholz der Zweigröhre eingreift. Am sichersten kann man jedoch immer Biegungen und Abzweigungen in hölzernen Röhrenleitungen vornehmen, wenn man gusseiserne Verbindungsstücke wählt. Die Befestigung derselben gegen die hölzernen Röhren geschieht dadurch, dass die erstern in letztere hineingeschoben und der Zwischenraum durch Holzkeile, die in Theer getränkt sind, gedichtet wird. Damit hierbei aber nicht vielleicht die Röhre spaltet, muss sie ebenso, als wenn eine hölzerne Röhre hineingeschoben würde, mit einem eisernen Ringe umgeben sein.

Zuweilen hat man es auch versucht, die hölzernen Röhren aus mehreren Seitenstücken zusammenzusetzen, um sie theils sorgfältiger zu bearbeiten, theils aber auch um ihnen eine grössere Weite zu geben. So ist schon oben bei Gelegenheit der Artesischen Brunnen von der Zusammensetzung aus zweien Hälften die Rede gewesen, und wenn die Anzahl der Segmente noch grösser wird, so ist ihre Construction ganz übereinstimmend mit der eines Fasses und die eisernen Zugbänder bewirken allein den Zusammenhang zwischen den einzelnen Theilen. So wenig man dergleichen Röhren auch bei Wasserleitungen anwenden wird, so muss doch erwähnt werden, dass genau auf diese Art die gusseisernen Röhren, welche das von der Maschine Chaillot in Paris gehobene Wasser unter dem sehr grossen Drucke nach den Reservoiren leiteten, mit Holz verkleidet wurden, um das starke Durchsickern zu verhindern. Der Mantel, den sie erhielten, bestand aus 1½ zolligen eichenen Stäben und starke eiserne Zugbänder pressten ihn zusammen.

Beim Verlegen der Röhren kommt es zunächst darauf an, diejenige **Tiefe** zu wählen, wo der Frost und die Hitze nicht mehr stark eindringen; eine bestimmte Grenze giebt es dafür nicht, da die Beobachtungen der Bodentemperatur zeigen, wie selbst in sehr grosser Tiefe ein Unterschied im Thermometerstande während des Sommers und Winters sich noch immer zu erkennen giebt. Ein wirkliches Gefrieren wird in unserm Klima schon in der Tiefe von drei Fuss nicht mehr befürchtet werden, wenn auch das Wasser sich in Ruhe befände und schon beim Eintritte in die Leitung eine Temperatur gehabt hätte, die wenig über dem Gefrierpunkte gewesen wäre. Das Einfrieren muss aber nicht nur wegen der Unterbrechung des Durchflusses, sondern auch deshalb vermieden werden, weil das Wasser sich dabei ausdehnt und die Röhre sprengt. Bei Röhrenfahrten, die in einer Stadt unter den Strassen befindlich sind, kommt es überdies darauf an, dass sie nicht von den Erschütterungen, die das darüber gehende Fuhrwerk verursacht, zu stark angegriffen werden; dieser Umstand ist besonders bei den viel spröderen Röhren von Gusseisen und Stein zu berücksichtigen.

Bei den ausgeführten Leitungen ist die Tiefe, in welcher die Röhren verlegt sind, sehr verschieden; die hölzernen Röhren,

welche die Soole von dem Scheitel des Soldenköpfel bei Berchtesgaden nach Reichenhall führen, liegen des kalten Klimas unerachtet meist ganz unbedeckt zur Seite der Chaussee; doch freilich verhindert eben der starke Salzgehalt des Wassers das Einfrieren desselben. Andere Leitungen, welche das Quellwasser, wie es aus der Erde kommt, führen, braucht man wegen des Frostes nicht tief zu versenken, weil die Abkühlung nicht so schnell erfolgt. Wo aber das Wasser schon vorher abgekühlt ist und es aus dem Speisebassin vielleicht unter einer Eisdecke abfliesst, da muss man jede fernere Erniedrigung der Temperatur verhindern und deshalb einige Fuss tief unter die Oberfläche des Bodens herabgehen. In Paris legt man alle Röhren mindestens 1 Meter oder 3 Fuss 2 Zoll tief, in England scheint man auch nur ungefähr diese Tiefe zu wählen, doch geht man in Deutschland bei der Anlage grösserer Leitungen gemeinhin etwas vorsichtiger zu Werke und versenkt die Röhren bis 5 Fuss tief.

Eine zweite Rücksicht, die man beim Verlegen der Röhren zu nehmen hat, bezieht sich auf die Tragfähigkeit des Bodens; im Allgemeinen kann man diese immer voraussetzen, insofern man keine neuen Aufschüttungen macht, sondern der Graben, worin die Röhre liegt, mit derselben Erde angefüllt wird, die schon früher hier lag und drückte. Das Gewicht der Röhre ist an sich unbedeutend und jedenfalls geringer als das der Erde, deren Stelle sie einnimmt; man hat also nur darauf zu achten, dass bei einem nachgiebigen Boden nicht andere Aufträge oder sonstige schwere Bauten noch ausgeführt werden; denn durch solche würde auch der Röhrenstrang, wenn er gerade darunter liegt, theilweise herabgedrückt und dadurch in seiner Verbindung gelöst werden. Endlich muss man noch darauf sehen, dass die Röhre mit keinen animalischen oder vegetabilischen Stoffen in Berührung kommt, weil solche vorzugsweise die Bildung der Schwämme verursachen. Aus diesem Grunde darf auch keine fette Gartenerde zur Bedeckung genommen werden, sondern am besten eignet sich dazu Sand oder Thon, sowie auch die Verbindung beider, nämlich Lehm. Eine Ausnahme hiervon rechtfertigt sich nur, wenn der Röhrenstrang, wie dieses in moorigem Boden zuweilen geschieht, unter das Grundwasser zu liegen kommt. Der Thon hat übrigens vor dem Sande noch den Vorzug, dass er das Durchsickern des

Wassers verhindert, woher er auch vorzugsweise hierbei benutzt wird. Zuweilen werden die Röhren vor dem Verlegen in der äusseren Oberfläche getheert, was jedoch wenig Nutzen haben dürfte, da man das Holz vorher nicht so stark austrocknen lässt, dass der Theer eine feste Verbindung damit eingehen könnte; andererseits geschieht es auch, dass man die Röhren von aussen schwach bebrennt, wodurch zwar der Fäulniss sehr kräftig entgegengewirkt, aber leicht der grosse Uebelstand herbeigeführt werden kann, dass die Röhren stellenweise sehr geschwächt werden.

Die hölzernen Röhren werden gewöhnlich ohne besondere Umschliessung durch Mauern in der Erde verlegt. Man hebt einen Graben in der Richtung aus, wo der Röhrenstrang liegen soll, und in solcher Tiefe, dass seine Sohle zugleich das Bette für den letzteren bildet. Unter Umständen kann die Anbringung eines Thonschlages auf der Sohle nöthig werden; jedenfalls wird man den Graben aber nur so breit anlegen, dass die Röhre darin Platz findet und die Böschungen so steil machen, dass sie kurze Zeit hindurch sich halten. Von grosser Wichtigkeit ist es, jede einzelne Röhrenstrecke, bevor sie wieder mit Erde verschüttet wird, in Hinsicht ihrer Wasserdichtigkeit zu prüfen. Zu diesem Zwecke wird in die äussere Oeffnung der zuletzt verlegten Röhre ein hölzerner Pflock eingetrieben und der Zufluss des Quelles nach der Leitung geöffnet; es bildet sich alsdann in der ganzen Leitung der volle Druck, welcher der Niveaudifferenz gegen das Speisebassin entspricht, und wenn dieser kein Ausspritzen oder Hervorquellen des Wassers aus den Fugen zwischen den Röhren oder durch die Röhrenwände selbst zur Folge hat, so kann man diesen Theil als gehörig wasserdicht ansehen und ihn verschütten.

Die willkührliche Zulassung und Absperrung des Wassers aus dem Sammelbassin nach der Röhrenleitung kann schon durch die in Fig. 74 dargestellte Vorrichtung erfolgen; man bringt dafür aber auch häufig eine Art von Kegelventil an, welches an einem Stiele herausgehoben und eingesetzt wird und welches die Oeffnung in der Grundrinne oder im daraufgestellten Rinnstocke sperrt.

Die Anbringung der Luftspunde darf in hölzernen Leitungen keineswegs fehlen, und da letztere viel roher zusammengesetzt sind als die eisernen, so tritt für die Luftspunde hier noch der

sehr wichtige Zweck ein, durch sie bei eintretenden Verstopfungen oder Lecken die schadhaften Stellen bald zu erkennen. Wo es geschehen kann, bringt man verticale Luftröhren in der Fig. 89 gezeichneten Verbindungsart an und führt sie bis über das Niveau des Speisebassins herauf. Hierzu findet sich indessen nicht leicht die Gelegenheit und man muss also bei jedem Gebrauche des Luftspundes die darüber geschüttete Erde aufgraben. Man pflegt in diesem Falle gewöhnlich nur die Röhre von oben anzubohren und das Bohrloch mit einem hölzernen Pflocke zu schliessen. Dieses geschieht etwa alle 10 Ruthen und man markirt genau die Stellen, wo es der Fall ist, und wählt dieselben auch vorzugsweise da, wo die Röhre nicht tief liegt und wo man leicht hinzukommen kann. Soll die Röhrenleitung angelassen werden, so sind alle diese Oeffnungen frei, sobald aber das Wasser daselbst erscheint und nach und nach den ganzen Querschnitt der Röhre füllt, auch wohl durch das Bohrloch bis zur äussern Wand der Röhre heraufsteigt und überfliesst, so wird der Pflock eingetrieben und dieses wiederholt sich an allen einzelnen Oeffnungen. Schliessen sie alle gehörig und stellt sich eine regelmässige Wirkung der Leitung ein, so kann die Verschüttung der Spunde vorgenommen werden.

Zeigt sich dagegen später eine merkliche Abnahme der zugeführten Wassermenge, während das Speisebassin gehörig gefüllt ist, so fängt man an, die Stellen, wo die Spunde befindlich sind, aufzugraben und letztere wieder herauszuschlagen. Aus der grösseren oder minderen Stärke, womit das Wasser herausquillt, erkennt man leicht, in welcher Strecke der Schaden zu suchen ist, und dieser Theil der Leitung muss gewöhnlich ganz aufgegraben werden. Entdeckt man einen Leck, so lässt sich durch Eintreiben von Hanf oder Werg (aufgelockertem Tauwerk) derselbe gemeinhin leicht stopfen; anders ist es aber, wenn eine Verstopfung in der Röhre vorgekommen ist, die sich namentlich durch eingetriebene Wurzelfasern zu bilden pflegt. Um in diesem Falle nicht gleich die ganze Röhrenleitung aufnehmen zu dürfen, so ist es gut, wenn man recht viele Wechselhäuschen angebracht hat, durch welche sich flexible Stangen in die Röhre einstossen lassen. Man kann aber auch die Luftspunde so einrichten, dass sie zu diesem Zwecke brauchbar sind; dieses geschieht, indem sie nicht

in einem blossen Bohrloche, sondern vielmehr in einer etwa 3 Fuss langen Oeffnung bestehen. Fig. 93 *a* zeigt eine solche von oben und Fig. 93 *b* im Querschnitte. Sie wird mit einem pyramidalisch zugeschnittenen Klotze geschlossen, der Fig. 93 *c* perspectivisch dargestellt ist. Letzterer darf natürlich nicht das Bohrloch der Röhre verengen, und er muss einige Zolle vor der äussern Wand der Röhre vorstehen, damit man ihn, so oft es nöthig ist, herausschlagen kann. Um ihn gehörig schliessend zu machen, ist er von allen vier Seiten passend geformt, und er wird, bevor man ihn einsetzt, noch mit getheerter Leinwand umwunden.

Durch solche lange Oeffnungen lässt sich nun das Gestänge sowohl nach der einen, wie nach der andern Seite einschieben. Dasselbe besteht aus zähen Ruthen von Haselnuss, Esche und andern Holzarten, die lange und gerade Triebe haben und dabei nicht spröde sind. Man bindet sie recht fest aneinander und stellt dadurch solche Längen dar, dass man von einem Spunde bis zu dem nächsten reichen kann. Am Ende werden sie auch wohl mit einem Besen oder einer eigenthümlichen Vorrichtung, der sogenannten Röhrbirne, versehen; dieses ist ein Stück Eisen, welches einer kreuzweise aufgespaltenen Birne gleich sieht; die einzelnen Viertel hängen da, wo bei der Birne der Stiel ist, durch Federn zusammen, und sie werden durch letztere immer auseinandergedrängt, während sie bei vorkommenden Unebenheiten sich auch zusammenlegen und durch viel engere Profile treiben lassen. Greift man nun hiermit das in der Röhre steckende Geflecht von Wurzeln an, so pflegt sich solches leicht von der Wand zu trennen und man kann es bis zum nächsten Spunde schieben, durch welches es herausgezogen wird. Auch wenn eine Anhäufung von Schlamm die Ursache der Verstopfung war, so pflegt die beschriebene Vorrichtung Luft zu machen. Zum letzten Zwecke sind aber besonders die bereits erwähnten Ausgüsse an den niedrigsten Stellen sehr wirksam, sowie auch die Schlammkasten eine Verstopfung dieser Art oft sehr wirksam verhindern.

Die steinernen Röhren bieten unter sich manche wesentliche Verschiedenheit dar; sie werden entweder durch Ausbohrung eines natürlichen Gesteines und zwar vorzugsweise des Sandsteines dargestellt, oder sie sind wie gewöhnliches Töpfergeschirr geformt und gebrannt und in diesem Falle gemeinhin von innen glasirt.

Man bildet sie ferner aus einer porcellanartigen Masse, die beim Brennen zusammensintert und daher keiner besonderen Glasur bedarf, und endlich werden sie zuweilen auch aus Mauerwerk oder auf andere Art unmittelbar da, wo sie gerade liegen sollen, dargestellt. Diese Röhren sind zum Theil sehr wohlfeil, auch dauerhaft, wenn sie vor äusseren Beschädigungen gesichert werden; sie geben dem Wasser am wenigsten einen fremdartigen Beigeschmack, lassen wegen der rauhen und festen Oberfläche die verschiedensten Kitte sehr gut haften und zeigen sich daher bei sorgfältiger Verlegung auch besonders dicht in ihren Stössen. Gekrümmte Röhrenstücke und Abzweigungen sind bei ihnen leicht darzustellen, und endlich gewähren sie den Vortheil, dass ihre Durchführung durch Mauern wegen der Uebereinstimmung des Materials wenig Schwierigkeiten macht.

Diese Gründe sind sehr häufig angeführt worden, um den steinernen Röhren allgemeineren Eingang zu verschaffen, als sie bisher gefunden haben; es fehlt auch keineswegs an Beispielen, welche zeigen, dass sie sich durch längeren Gebrauch bewährt haben, aber dagegen sind auch viele Fälle bekannt geworden, wo sie sich so wenig haltbar zeigten, dass man sie bald verwerfen musste, und besonders sind in dieser Beziehung die Erfahrungen wichtig, die man in England gemacht hat. Ihre grosse Zerbrechlichkeit gereicht ihnen ohne Zweifel zum Vorwurfe; keine andere Art von Röhrenleitung verlangt eine solche Vorsicht in der Verlegung, damit ja kein Theil hohl zu liegen komme oder durch Erschütterungen berührt werde. Die Steifigkeit, welche sie sowohl in den einzelnen Röhrenstücken haben, als auch durch die angewendeten Kitte in den Stössen erhalten, ist eine neue Veranlassung ihres häufigen Brechens. In dieser Beziehung wirkt schon die Temperaturveränderung sehr nachtheilig auf sie, während es unmöglich ist, ihnen die genaue Form zu geben, welche sie haben müssten, wenn man eine künstliche Compensation, wie bei eisernen Röhren, ihnen geben wollte. Ferner ist ihre Festigkeit immer sehr geringe und noch dazu sehr ungleichmässig, so dass man sie einem grösseren Wasserdrucke nie aussetzen darf, wenn sie nicht einen ganz kleinen Durchmesser haben. Endlich aber ist auch die Wasserdichtigkeit oft genug nicht so vollständig zu erreichen gewesen, als man es vermuthete; und wenn dieser

Vorwurf auch die porcellanartigen Röhren am wenigsten treffen mag, so stellt er sich bei den andern doch sehr bald heraus, und auffallend ist es, wie die Vegetation hierbei einen wesentlichen Einfluss auszuüben scheint. Manche Bäume sind so begierig, ihre Wurzeln in diese Röhren zu senden, dass man bemerkt hat, wie dieselben sich bis auf 30 Fuss in horizontaler Entfernung und bis 12 Fuss in der Tiefe direct nach der Leitung hinzogen, und sobald sie dieselbe erreicht hatten, durchdrangen die feinen Fasern den Mörtel wie den Stein und machten dabei nicht nur die Röhren undicht, sondern verstopften sie auch. *) Aber auch die Vegetation im Innern ist bei keiner andern Leitung so reichlich und so störend, wie gerade bei den steinernen.

Hiernach scheint es, dass die Vortheile reichlich durch die Nachtheile aufgewogen werden, und wenn gleich unter manchen localen Verhältnissen die ersteren überwiegend sein mögen, so muss man wohl bezweifeln, dass diese Röhren eine allgemeine Verbreitung finden können.

Die Art, wie dergleichen steinerne Röhren gebohrt werden, ist folgende: man setzt eine stählerne Pfanne am obern Ende des Steinblockes und zwar in der Mittellinie der zu bildenden Röhre ein; hierin wird die Axe des Bohrers eingestellt und oben besonders befestigt. Diese Axe ist verbunden mit einem eisernen sehr dünnen Cylinder, der frei herabsinken kann, aber doch die drehende Bewegung der Axe annehmen muss, er hat unten einen 6 Linien breiten Rand und dieser schneidet in den Stein. Der Cylinder muss etwa $1\frac{1}{2}$ Fuss länger als die zu bohrende Röhre sein, damit er in dem über dem Steine vorragenden Ende noch gehörig gefasst und sicher geführt werden kann. Der Axe wird nun eine hin- und hergehende Drehung ertheilt, sie macht in jeder Richtung eine volle Umdrehung oder etwas mehr; wollte man sie immer in derselben Richtung drehen, so würde die Wirkung geringer und die Bewegung sehr erschwert werden. Von oben fliesst Wasser mit scharfem Sande gemengt fortwährend zu, welches sich in die kreisförmige Furche hineinzieht und den feinen Bohrschlamm herausstösst. Dieses ist das Verfahren, wie nach dem Patente von Murdock die Röhren für die Wasserleitung

*) Vergl. *Sganzin Resumé*, 4. Auflage. S. 161.

in Manchester gebohrt wurden, man verband aber auch mehrere Cylinder an einer Bohraxe mit einander und stellte dadurch zu gleicher Zeit aus demselben Steine bis vier Röhren von verschiedener Weite dar. Es muss noch bemerkt werden, dass dieser Stein ein fester Kalkstein war, der unter dem Namen des Portland-Stone bekannt ist. Die Röhren hatten etwa 6 Fuss Länge und bei einer lichten Weite von 12 Zoll betrug ihre Wandstärke etwa 4 Zoll. *) Diese Röhren sind gewöhnlich in der Art verbunden, wie dieses auch bei eisernen Röhren vorkommt; breite eiserne Ringe werden nämlich über die Stösse geschoben und überdecken einige Zoll weit jedes der beiden Röhrenstücke, der Zwischenraum zwischen denselben und dem Ringe wird aber mit hydraulischem Mörtel oder einem andern Kitte ausgestrichen, oder behufs eines recht dichten Schlusses noch mit schmalen Holzkeilen gefüllt. Zuweilen versieht man jede Röhre auch mit einer Erweiterung an einem Ende, in welche das andere Ende der folgenden Röhre eingreift, wie dieses bei gusseisernen Röhren gleichfalls vorkommt, und man dichtet die Fuge wieder mit Mörtel. Die Anfertigung wird dadurch aber augenscheinlich erschwert, und ausserdem verliert jedes Röhrenstück bei der Zusammensetzung einen Theil seiner Länge, indem es in das vorhergehende hineingeschoben wird. Dass man bei der Verlegung dieser Röhren und noch mehr bei ihrer Beschüttung sehr vorsichtig zu Werke gehen muss, ist bereits erwähnt worden. Das gewöhnliche Verfahren ist auch dieses, dass sie durchweg auf ausgemauerten Fundamenten ruhen, und zwar wird das Mauerwerk oben nach der Form der Röhre abgeglichen, damit der Druck sich auf eine recht grosse tragende Fläche vertheilt.

Dergleichen Röhren aus Sandstein und zum Theil auch aus andern Steinen, wie aus Marmor, hat man schon zur Zeit der ersten römischen Kaiser benutzt; sie sind auch später mehrfach versucht worden, wenn gleich die Schwierigkeit ihrer Darstellung nicht leicht erlaubte, eine Anwendung im Grossen davon zu machen. Doch geschah dieses vor einigen Jahrzehenden in England; im Anfange dieses Jahrhunderts bildete sich nämlich in Manchester

*) *Bélidor architecture hydraulique. Nouvelle édition par Navier. pag.* 537.

eine Actiengesellschaft zur Versorgung der Stadt mit Wasser. Sie legte zuerst hölzerne Röhren; da diese jedoch viele Reparaturen verursachten, so sollten dieselben durch andere ersetzt werden, und da der Eigenthümer eines Steinbruches in der Nähe sich zur Lieferung von Sandsteinröhren erbot und einige Proben sehr vortheilhaft ausfielen, so entschloss sich die Gesellschaft auf den Rath des berühmten Rennie, diese Röhren zu wählen. Als man sie verlegte, wurde jede mögliche Vorsicht wahrgenommen; als aber das Wasser hineingelassen wurde, so zeigte sich die Unangemessenheit der Wahl des Materials auf die augenscheinlichste Art. Grosse Theile der Stadt wurden sogleich inundirt, indem eine Menge Röhren bei dem Wasserdrucke in viele Stücke zersprangen und aus den andern, die ganz geblieben waren, überall das Wasser durch die Röhrenwand durchquoll. Indem nun die Fonds der Gesellschaft vollständig erschöpft und alles Zutrauen zu ihr beim Publikum verschwunden war, so löste sie sich auf, und die neue Gesellschaft, die 1817 zusammentrat, legte gusseiserne Röhren, die noch in Wirksamkeit sind.*) In derselben Zeit, als in Manchester die steinernen Röhren gelegt wurden, sollte die Grand Junction-Canalwasserleitung in London ausgedehnt werden, und Rennie, der auch hier der Ingénieur der Gesellschaft war, veranlasste letztere sogar, die gusseisernen Röhren, die das Wasser verunreinigen sollten, zu entfernen und dafür wieder steinerne anzuwenden. Man folgte seinem Rathe und der Erfolg war derselbe, wie in Manchester, so dass man sich beeilen musste, wieder die gusseisernen Röhren zu verlegen. Die Kosten dieses Versuchs betrugen 11000 Pfund.

Die thönernen, inwendig glasirten Röhren sind es vorzugsweise, die sich durch ihre Wohlfeilheit empfehlen würden, wenn ihre Zerbrechlichkeit und sonstige geringe Dauer nicht ihre Anwendbarkeit so wesentlich beschränkte. Da ihnen die nöthige Festigkeit abgeht, um auch nur einem geringen Wasserdrucke zu widerstehen, so vermauert man sie gewöhnlich in der Art, dass sie wirklich nur die innere Wand der Röhrenleitung bilden. Hierzu ist nun aber eine sichere Fundirung erforderlich, damit nirgend ein Setzen sich zeigt, und die Um- und Uebermauerung

*) *Matthews hydraulia.* p. 138 ff.

vermehrt so sehr die Kosten, dass der Vorzug der Wohlfeilheit im Vergleiche zu den hölzernen und oft selbst zu den eisernen Röhren verschwindet. Die Verbindung ist in der Regel diese, dass jede Röhre in das erweiterte Ende der nächsten eingreift und die Fuge mit Kitt gedichtet wird. Vor dem Brennen und Trocknen lassen die Röhren sich bequem etwas biegen, man kann daher die Krümmungen leicht darstellen und so auch in besonderen Formen die Stücke mit Abzweigungen darstellen. Es ist aber nicht ungewöhnlich, dass man Luftspunde und Abzweigungen nicht in den thönernen Röhren, sondern in zwischengelegten hölzernen Röhren anbringt, in welche jene eingreifen.

Indem nach dieser Darstellung die gemauerte Umschliessung der Röhre den Haupttheil bildet, so kann man die gebrannte Röhre selbst auch ganz fortlassen. Auf diese Art stellt man zuweilen kleine Canäle dar, die überwölbt, oder mit Deckplatten oben geschlossen sind, die aber immer durch das Wasser vollständig gefüllt werden und aus diesem Grunde als Röhren anzusehen sind. Fleuret hat sie auch ohne Anwendung von Mauersteinen allein aus einem schnell erhärtenden Mörtel gebildet; er bediente sich dabei eines hölzernen Cylinders, dessen Durchmesser der beabsichtigten Röhrenweite entsprach; derselbe wurde mit Mörtel umgeben und dann etwas herausgezogen, jedoch so, dass er noch zum Theil in der bereits fertigen Röhre stecken blieb, woher die Fortsetzung sich immer genau an das fertige Ende anschloss. Fig. 94 zeigt den Querschnitt einer solchen Röhre.

Die aus einer porcellanähnlichen Masse gebildeten Röhren sind unter den verschiedenen steinernen Röhren gewiss die vorzüglichsten, insofern sie am festesten und für das Wasser am wenigsten durchdringlich sind. Bei einem kleinen Durchmesser von wenigen Zollen halten sie auch einen Wasserdruck bis 80 Fuss aus, doch müssen sie aus einer möglichst gleichmässigen Masse bestehen und so fest gebrannt sein, dass sie am Stahle Funken geben; ihre Wandstärke ist natürlich dem Drucke angemessen zu wählen, gemeinhin genügt es aber, derselben den vierten Theil der lichten Weite zu geben. Dieses ist die Beschaffenheit der Röhren, welche in Augsburg schon seit sehr langer Zeit zu den Wasserleitungen benutzt werden, und ähnliche Beispiele kommen auch an andern Orten vor. Beim Verlegen dieser Röhren muss

man indessen wieder sehr vorsichtig sein; eine fortlaufende Fundirung, in welcher sie in einer besonders dazu angebrachten Rinne liegen, darf nicht leicht fehlen, ausserdem aber müssen sie auch vor Erschütterungen von dem darübergehenden Fuhrwerke gesichert und daher gehörig tief verlegt werden. Zu ihrer Zusammensetzung dient entweder ein mörtelähnlicher Cement, oder auch ein Kitt, der heiss aufgebracht wird und beim Erkalten erhärtet, wie z. B. Schwefel, der hierbei vorzugsweise benutzt wird.

Die bleiernen Röhren waren vor einigen Jahrzehenden noch vielfach im Gebrauche und sie empfehlen sich mit Recht durch manche schätzbare Eigenschaften; sie können einen starken Wasserdruck aushalten, ohne zu springen, sie sind sowohl an sich sehr wasserdicht, als auch in den Stössen, wo sie zusammengelöthet werden. Man kann sie biegen und dadurch jede beliebige Krümmung darstellen, und endlich kommt es bei ihnen am wenigsten auf eine gesicherte Lage an, denn Stösse und Erschütterungen schaden ihnen nichts, und eben so wenig leiden sie, wenn sie theilweise auf einem nachgebenden Boden liegen, wo sie tiefer als an andern Stellen einsinken. Nachtheilig ist zwar ihre starke Ausdehnung in der Wärme, die $2\frac{1}{7}$ Mal grösser als bei Gusseisen ist, da sie indessen nicht leicht in ganz geraden Strängen liegen, so haben sie meist Gelegenheit, sich ohne Nachtheil zu verlängern oder zu verkürzen. In der neuesten Zeit sind sie indessen durch die gegossenen eisernen Röhren verdrängt, die bei der vervollkommneten Methode des Giessens viel billiger darzustellen sind, und endlich hat man ihnen den Vorwurf gemacht, dass sie das Wasser mit Bleikalk versetzen und es dadurch förmlich vergiften sollen. Sie werden heutiges Tages nur noch als dünne Zweigröhren benutzt.

Die älteste Methode ihrer Darstellung war die, dass man Bleiplatten zu cylindrischen Flächen scharf zusammenbog und die Ränder, ohne dass sie sich überdeckten, zusammenlöthete; man hat es auch versucht, die Ränder durch blosses Falzen und ohne Löthung mit einander zu verbinden. Hauptsächlich werden die Bleiröhren aber gegossen und in neuerer Zeit ist das Ziehen der gegossenen Röhren über einem Dorne und durch stählerne Löcher von abnehmender Weite üblich geworden. Die gegossenen Röhren sind gewöhnlich 12 Fuss lang und sie haben eine Weite von

1 bis 6 Zoll; ihre Wandstärke beträgt nach Génieys bei einer lichten Weite

von	1 Zoll	$2\frac{1}{2}$ Linien
-	2 Zoll	$3\frac{1}{4}$ Linien
-	3 Zoll	4 Linien
-	4 Zoll	$4\frac{1}{2}$ Linien
-	6 Zoll	$5\frac{3}{4}$ Linien.

Bei stärkeren Oeffnungen pflegen sie nicht mehr gegossen, sondern aus Platten geformt zu werden, und im letzten Falle erhalten sie auch besonders angelöthete Ränder, die, ähnlich den Rändern der gusseisernen Röhren, mit Schraubenbolzen gegen einander gepresst werden; dabei ist es aber nöthig, eiserne Ringe, welche die Bolzenlöcher enthalten, zuvor auf die Röhren aufzuziehen, da ohne dieselben der nöthige Druck nicht auf dem ganzen Umfange gleichmässig vertheilt werden kann. Die engeren Röhren löthet man dagegen bei der Verlegung zusammen, indem die Ränder stumpf gegeneinander gebracht, aber nicht ineinander geschoben werden. Indem man bei den Bleiröhren mit Leichtigkeit überall Oeffnungen einschneiden und andere Röhren dieser Art wieder anlöthen kann, so sind alle möglichen Abzweigungen hier besonders leicht anzubringen. Wie man sie mit gusseisernen Röhren verbindet, soll bei Gelegenheit der Beschreibung der letzteren auseinandergesetzt werden; es ist dieses aber dieselbe Methode, wodurch sie auch mit hölzernen Röhren in Verbindung zu setzen sind.

Um eine Bleiröhre zu prüfen, ob sie beim Gusse oder beim Ziehen oder Walzen überall die nöthige Wandstärke erhalten hat und die Fugen auch wirklich wasserdicht sind, so schliesst man sie an einem Ende recht fest mit einem umwundenen hölzernen Pflock, giesst sodann Wasser hinein und steckt in das offene Ende einen starken Stock, der unten mit einer Art Kolben versehen ist. Kann man auf letzteren mit einem Hammer aufschlagen, ohne dass Wassertropfen aus der Röhre ausspritzen, oder dieselbe irgendwo Veränderungen zeigt, so hat sie die erforderliche Stärke und Wasserdichtigkeit.

Jardine in Edinburg beobachtete, dass eine Bleiröhre von $1\frac{1}{2}$ Zoll Weite und $\frac{1}{5}$ Zoll Wandstärke noch einem Wasserdrucke von 1000 Fuss widerstand, und dass sie aufriss, sobald der Druck auf 1200 Fuss stieg; eine andere Röhre von derselben

Wandstärke und 2 Zoll Weite hielt nur den Druck von 860 Fuss mit Sicherheit aus, und brach bei 1000 Fuss.*) Hieraus ergiebt es sich, dass die obigen Wandstärken für alle in der Praxis vorkommenden Fälle ausreichen; es zeigt sich aber auch, dass die absolute Festigkeit des Bleies nur etwa der neunte Theil von der des Gusseisens ist, und da der Preis desselben mehr als das Doppelte von diesem beträgt, so rechtfertigt es sich gewiss, dass man bei allen stärkeren Leitungen gusseiserne Röhren anwendet. Es muss noch bemerkt werden, dass die Zähigkeit des reinen Bleies weder einen plötzlichen Bruch, noch auch ein förmliches Sprengen der Röhren vorkommen lässt. Der Erfolg einer zu starken Pressung ist vielmehr der, dass die schwache Stelle aufzuschwellen anfängt, und in dem Maasse, wie die Wandfläche sich hier vergrössert, so wird sie auch dünner, bis sie endlich reisst. Entsteht ein solcher Riss, so werden durch das ausstürzende Wasser die Ränder sogleich stark umgebogen und die Spalte erhält eine sehr weite Oeffnung. So bemerkte ich bei den Bleiröhren in Paris, wenn dieselben gerissen waren, dass die Spalten sich gemeinhin auf 2 Zoll Breite erweitert hatten.

§. 23.

Gusseiserne Leitungsröhren.

Bei Anwendung des Gusseisens zur Darstellung der Leitungsröhren lassen sich alle diejenigen Vorkehrungen in Anwendung bringen, welche eine zweckmässige Vertheilung des Wassers und eine möglichste Schonung desselben, so wie eine ununterbrochene Wirksamkeit der Leitung bezwecken. Ein grosser Vorzug der gusseisernen Röhren liegt aber noch in ihrer Dauer; man hat in England Röhren, die 100 Jahre hindurch das Wasser geleitet haben, ohne Spuren von einer Abnutzung zu zeigen. Ferner ist ihre Stärke und Wasserdichtigkeit so gross, dass man bei gewöhnlichen Leitungen, und wenn dabei auch ein Wasserdruck von 100 Fuss vorkommt (der doch selten erreicht wird), nur diejenige Wandstärke ihnen geben darf, die eben zur Darstellung eines

*) Navier, *Résumé des Leçons données à l'école des ponts et chaussées. Vol. I.* Paris 1826. S. 399.

gleichmässigen Gusses erforderlich ist. Mittelst der hydraulischen Presse können sie leicht und sicher geprüft werden. Ihre Verbindung untereinander lässt sich sehr solide und wasserdicht bewirken, und die Genauigkeit und Schärfe, womit das Gusseisen bearbeitet werden kann, erlaubt es, sie so einzurichten, dass sie sich verlängern und verkürzen und selbst biegen können. Ihre Kosten sind endlich, nachdem die Kunst des Giessens, hauptsächlich eben durch das Giessen der Leitungsröhren vervollkommnet ist, so geringe geworden, dass sie mit Berücksichtigung der jedesmaligen Reparaturen sich unter den meisten Verhältnissen als die wohlfeilsten herausstellen. Ein Mangel an Zähigkeit fällt ihnen freilich zur Last, wenn man sie mit den hölzernen und bleiernen Röhren vergleicht, doch lässt sich dieser durch die Verbindung der einzelnen Stücke gewissermaassen ersetzen. Das Wasser, das in ihnen fliesst, afficiren sie wenig, und gewiss gar nicht in der Art, dass es der Gesundheit nachtheilig würde. Der grösste Uebelstand ist der, dass das Gusseisen oxydirt, und in manchen Fällen dieses Oxyd sich in so grossen Massen absetzt, dass die Oeffnung der Röhren zuweilen nach wenigen Jahren schon sehr stark verstopft gefunden wurde. Man hat indessen diesen Fall nur sehr selten und wie es scheint nur einmal bemerkt, woher die Besorgniss, dass bei einer neuen Anlage der Erfolg derselbe sein möchte, beinahe verschwindet.

Um die nöthige Wandstärke der gusseisernen Röhren zu bestimmen, muss man ausser der absoluten Festigkeit des Gusseisens auch den innern Durchmesser der Röhre und die Druckhöhe des Wassers kennen. Es sei f die absolute Festigkeit, oder diejenige Anzahl von Pfunden, welche ein gusseiserner Stab von 1 Quadratzoll Querschnitt noch eben mit Sicherheit tragen kann, ohne zu zerreissen, d der Durchmesser oder die lichte Weite der Röhre, e ihre Wandstärke, Beides in Zollen ausgedrückt, und h bezeichne die Druckhöhe des Wassers über der Axe der Röhre und zwar in Fussen. Die Röhre kann nun brechen, indem der Druck in jedem einzelnen ringförmigen Theile derselben gegen die betreffenden Wände grösser wird, als die Cohäsion der Wände; es ist aber auch denkbar, dass die Wände ringsum brechen und ein Theil der Röhre sich von dem vorhergehenden löst. Der letzte Fall ist an sich weniger wahrscheinlich, als der erste, weil die

Befestigungsart der Röhren dieses gemeinhin verhindert, da er aber doch zuweilen eintreten kann, so ist es nöthig, ihn auch in Betrachtung zu ziehen. Ich mache mit ihm den Anfang und untersuche also zunächst, wie gross e sein muss, damit die Röhre nicht transversal bricht. Nach der eingeführten Bezeichnung ist der Druck des Wassers auf einen Quadratzoll Fläche

$$= \frac{66}{144} \cdot h = 0{,}458 \cdot h,$$

also auf den ganzen Querschnitt der Röhre

$$= \frac{1}{4} d^2 \pi \cdot 0{,}458 \cdot h$$

Der Querschnitt der Wand ist

$$= \left[\left(\frac{1}{2} d + e\right)^2 - \left(\frac{1}{2} d\right)^2\right] \pi$$

$$= \left(ed + e^2\right) \pi$$

oder wenn e, wie gewöhnlich, ziemlich klein ist in Vergleich gegen d, annähernd

$$= e d \pi$$

also der Druck, den diese Wand noch mit Sicherheit aushalten kann

$$= e d \pi \cdot f$$

Man muss daher mindestens haben

$$e = \frac{1}{4} \cdot 0{,}458 \frac{hd}{f} = 0{,}115 \cdot \frac{hd}{f}$$

Damit ferner die Röhre nicht longitudinal brechen kann, darf in jedem ringförmigen Theile, dessen Breite ich zu 1 Zoll annehme, der Druck auf ein einzelnes Stück desselben nicht grösser werden, als die Cohäsion der Wand, und da hier an ein Umbiegen, oder an den Bruch in einer einzelnen Stelle nicht gedacht werden kann, da das Gusseisen nicht biegsam ist, und überdies ein gleichmässiger Guss vorausgesetzt wird, so muss der Ring auf zwei Stellen brechen. Der Wasserdruck, der dieses bewirkt, ist proportional der Sehne des abgebrochenen Stückes vom Ringe, er wird also ein Maximum, sobald der Ring diametral zerbricht, auch möchte wahrscheinlich das Herausdrücken eines gewissen Segmentes eine noch grössere Kraft erfordern, als der diametrale Bruch. Sonach muss e so gross sein, dass es in jedem einzelnen Ringe den diametralen Bruch, als den am leichtesten erfolgenden, verhindert. Die Cohäsion an beiden Bruchstellen beträgt

$$= 2 e f$$

und der darauf hinwirkende Wasserdruck ist

$$=0,458 \, . \, h \, . \, d$$

Beides einander gleich gesetzt, giebt

$$e=\frac{1}{2} \, . \, 0,458 \, . \, \frac{hd}{f}=0,229 \, . \, \frac{hd}{f},$$

also ist der Werth von e hier noch einmal so gross, als im ersten Falle, und richtet man sonach die Röhre so ein, dass der Longitudinalbruch nicht erfolgen kann, so ist eben dadurch schon die Sicherheit gegen den Transversalbruch erreicht.

In Bezug auf den Longitudinalbruch muss ich noch bemerken, dass man hierbei zuweilen noch die Elasticität in Betracht gezogen, und über die dadurch herbeigeführten Aenderungen der Röhre gewisse Voraussetzungen gemacht hat, welche eine geringe Modification des Resultates veranlassen. Man bedarf dieser Voraussetzungen und Modificationen aber nicht, wenn man für f denjenigen Werth wählt, der noch keine merkliche Ausdehnung des Materials hervorbringt; und überdies ist es für die Anwendung ohne allen Zweck, in einem Theile der Untersuchung eine grosse Schärfe erreichen zu wollen, während in derselben Formel ein anderer Theil, nämlich die Constante so wenig bekannt ist, dass man ihren Werth eben so gut verdoppeln, wie um die Hälfte vermindern kann. In vorliegendem Falle ist es z. B. ungewiss, ob man

$$f=70400$$

oder $f=17600$ setzen soll.*)

Die geringste Wandstärke, die man im Gusse darstellen kann, ist etwa ein Viertel Zoll, und darnach würde eine Röhre von 6 Zoll Weite einem Wasserdrucke von 2900 Fuss und eine von 12 Zoll Weite noch einem solchen von 1450 Fuss Widerstand leisten können, wobei f der Sicherheit wegen nur 16000 gesetzt ist. Die Erfahrung zeigt nun aber, dass die Röhren diese Festigkeit wirklich nicht besitzen, indem der Guss nicht überall rein, noch auch gleichmässig genug ausfällt. Dazu kommt, dass eine zufällige Abnutzung immer denkbar bleibt, und dass nicht der todte Druck des Wassers allein die Ursache des Bruches der Röhren ist, sondern in viel höherem Grade der Stoss der bewegten Wassersäule beim

*) Vergl. Eytelwein's und Barlow's Versuche: letztere sind beschrieben in den *Transactions of Civil Engineers. I. pag.* 137.

Schliessen eines Ventiles, wodurch ein Effect ähnlich dem des Stosshebers hervorgebracht wird. Um die Wandstärke zu beurtheilen, die man in der neuesten Zeit den Wasserleitungsröhren giebt, bemerke ich, dass d'Aubuisson*) bei der oft erwähnten Anlage zu Toulouse die geringste Wandstärke auf 10 Millimeter, oder 4,6 Linien Preussisch feststellte, und dieselbe bis zur lichten Weite von $4\frac{1}{2}$ Zoll beibehielt. Betrug die lichte Weite indessen mehr, so setzte er die Wandstärke gleich drei Hunderttheilen der lichten Weite + 7 Millimeter ($3\frac{1}{4}$ Linien Preussisch). In der Bemerkung giebt er an, dass er im Allgemeinen der Regel gefolgt sei, die Wandstärke im Metrischen Maasse so anzunehmen, dass

$$e = 0{,}01 + 0{,}015 \,.\, d$$

also im Preussischen Zollmaasse

$$e = 0{,}38 + 0{,}015 \,.\, d$$

Dagegen giebt Th. Wicksteed**) an, dass die Röhren, die er in London verlegen liess (ihre Länge betrug 22 Englische Meilen)

bei 18 Zoll Weite $\frac{3}{4}$ Zoll stark
- 5 - - $\frac{1}{2}$ - -
- 3 - - $\frac{3}{8}$ - -

gewesen wären.

Leitet man hieraus eine ähnliche Formel ab, indem man die wahrscheinlichsten Werthe der Constanten aufsucht, so findet man nach der Reduction auf Preussisches Zollmaass

$$e = 0{,}41 + 0{,}013 \,.\, d$$

Bei engeren Röhren bleibt man indessen mit der Wandstärke noch unter dem durch diese Gleichung gegebenen Werth, und überhaupt kann man dieses immer thun, wo die Güte des Eisens und die Sorgfalt beim Giessen mit Sicherheit erwarten lässt, dass keine schlechten Stellen in den Röhren vorkommen. In früherer Zeit hielt man es für unmöglich, die Wandstärke geringer als zu 1 Zoll anzunehmen, und dabei gab man den einzelnen Röhrenstücken nur die Länge von 3 Fuss; indem die Lieferung der Röhren aber nach dem Gewichte geschah, so lag es im Interesse der Hüttenbesitzer, eine Verminderung der Wandstärke als ganz unausführbar

*) *Annales des ponts et chaussées.* 1838. *II. pag.* 299.

**) *Civil Engineer and Architects Journal* 1838. *pag.* 242.

darzustellen. Die Concurrenz allein würde wahrscheinlich nicht sobald eine solche Vervollkommnung des Gusses, wie wirklich eingetreten ist, erzielt haben, wenn man nicht das Interesse der Hüttenbesitzer hiermit in Verbindung gebracht hätte, nämlich man fing in England an, die Lieferung von Gussröhren in Entreprise zu geben, ohne irgend eine bestimmte Wandstärke, noch ein bestimmtes Gewicht festzustellen; es wurde nur bedungen, dass die Röhren regelmässig geformt und von einer gewissen Weite sein sollten, besonders aber wurde die Bedingung festgesetzt, dass sie auf einen bestimmten Druck und zwar gemeinhin auf 10 Atmosphären geprüft werden sollten. Die Bezahlung geschah nur nach der Länge des gelieferten Röhrenstranges. Durch dieses Verfahren wurden die Hüttenbesitzer in ihrem eignen Interesse dahin geführt, einen recht feinen und dabei fehlerfreien Guss darzustellen, und da die Concurrenz zwischen den verschiedenen Hüttenbesitzern den Preis bald in demselben Maasse herabdrückte, wie das Gewicht der Röhren vermindert war, so hatten die Anlagekosten für gusseiserne Röhrenleitungen sich bald auf die Hälfte und den dritten Theil des früheren Betrages vermindert, wozu noch kam, dass die Hüttenbesitzer sich auch bemühen mussten, die einzelnen Röhrenstücke recht lang zu machen, denn die Ränder und sonstige Vorrichtungen zur Verbindung wurden gar nicht besonders bezahlt. Die Röhren hatten hierdurch aber keineswegs an Güte verloren, vielmehr durch die Einführung des Verfahrens, dass jedes einzelne Stück mit der hydraulischen Presse geprüft wurde, wesentlich gewonnen.

Die jetzt übliche Methode zum Giessen der Wasserleitungsröhren ist folgende: man nimmt starke cylindrische Formkasten, von etwa 3 Fuss Länge, deren innerer Durchmesser beträchtlich weiter ist, als der äussere der Röhren sein soll; sie lassen sich der Länge nach in zwei Hälften zerlegen, die beim Gebrauche fest zusammengekeilt sind. Unten und oben haben sie überdies vorstehende Ränder, womit sie auf einander gestellt und befestigt werden können. Einen dieser Formkasten stellt man auf eine feste Unterlage vertical auf, und zwar so, dass durch einen Krahn genau in seine Axe ein polirter metallener Kern herabgelassen werden kann. Der Kern entspricht dem äussern Durchmesser der Röhre. Man lässt den Kern herab, so dass er in einem

passenden Loche in der Unterlage aufsteht, es bleibt aber zwischen demselben und der Wand des Formkastens ein freier Raum, den man, nachdem der Kern oben noch abgesteift ist, mit feuchtem Formsande anfüllt und fest ausstampft. Sobald dieses geschehen ist, zieht man den Kern vorsichtig mittelst des Krahnes heraus und bringt den Formkasten in die Trockenstube; dasselbe geschieht mit den übrigen Formkasten. Um den Gusskern zu bilden, nimmt der Former eine viereckige eiserne Stange von 10 Fuss Länge und windet ein Strohseil darum, dann steckt er sie in eine fast eben so lange und von innen polirte Röhre; letztere hat dieselbe Weite, welche man der Röhre geben will. Nun wird eine steife Mischung von Sand, Lehm und Haaren genommen und in diese Röhre eingebracht und dabei immer recht fest angestossen, damit sie das Strohseil durchdringt und sich damit genau verbindet. Man zieht den so gebildeten Kern gleich heraus und bringt ihn wieder in die Trockenstube. Soll endlich der Guss ausgeführt werden, so wird in einer 10 Fuss tiefen Grube im Giesshause einer von den oben beschriebenen Formkasten mit der Sandausfüllung lothrecht aufgestellt, darüber ein zweiter, genau concentrisch mit ihm, und beide werden durch Bolzen und Splinte mit einander verbunden; endlich stellt man auch ebenso noch den dritten auf. Nun lässt man sehr vorsichtig den Gusskern herab. Die eiserne Stange oder die Axe des letzteren findet unten schon eine passende Oeffnung, wodurch ihre Stellung und sonach die des ganzen Gusskerns gesichert ist; oben dagegen kann man letzteren leicht concentrisch richten, und nachdem dieses geschehen, schlägt man Lehm darüber, wodurch theils der Kern gehalten, theils aber auch die Eingussöffnung gebildet wird. Bei engeren Röhren trägt man das geschmolzene Eisen in Löffeln bei, bei grösseren lässt man es aus den Oefen unmittelbar einfliessen. Wenn endlich der Guss erkaltet ist, so hebt man die Formkasten aus der Grube, löst sie von einander und nimmt sie vollends ab, indem man jeden in seine beiden Hälften zerlegt; ebenso reisst man die eiserne Stange heraus und reinigt die Röhre von aussen und innen von dem noch daran haftenden Sande.

Wenn man die Röhre in allen drei Formkasten ganz gleichmässig gebildet hätte, so könnte es doch nicht fehlen, dass beim Zusammensetzen derselben einige Abweichungen der äusseren

cylindrischen Fläche eintreten, welche weniger nachtheilig, als vielmehr sehr bemerkbar wären, und die ein unregelmässiges Ansehen ihr geben würden; dieses vermeidet man, indem der eiserne polirte Kern, der in jeden Formkasten gestellt wird, oben einen Rand hat, der etwa um einen halben Zoll vortritt und der noch 2 Zoll hoch mit Sand beschüttet wird. Auf solche Art bekommt die fertige Röhre in Entfernungen von drei Fuss einen Ring von den erwähnten Dimensionen, der Zweck desselben ist aber weniger die Verstärkung der Wand, als vielmehr die Verdeckung kleiner Unregelmässigkeiten. In ähnlicher Art erhält auch der Kern für den obern Formkasten diejenige Ausbauchung, die zur Zusammensetzung der Röhren dient, wovon weiterhin die Rede sein wird; um dieselbe aber auch im Innern der Röhre darzustellen, so muss jene von innen polirte Röhre, in welcher man den Gusskern formt, schon auf eine entsprechende Art oben erweitert werden.

Nachdem die Röhren aus der Form genommen und gereinigt sind, pflegt man das untere Ende noch mit einem Hartmeissel zu ebenen, damit hier nicht etwa Unebenheiten bleiben, die bei der Zusammensetzung grosse Oeffnungen bilden, durch welche das Tauwerk, das zum Dichten gebraucht wird, in die Röhre dringen könnte.

Bei der Abnahme der Röhren verwirft man

1) alle Röhren, welche Risse, Blasen und überhaupt einen unreinen Guss zeigen,
2) die an dem einen oder dem andern Ende eine sehr ungleiche Wandstärke zu erkennen geben; nach Génieys darf man nur einen Spielraum von etwa 1 Linie gestatten.
3) diejenigen, an welchen man nicht einen kreisförmigen, sondern einen elliptischen Querschnitt, entweder in der innern oder äussern Oberfläche, bemerkt, und endlich
4) alle Röhrenstücke, welche bei der Probe mit der hydraulischen Presse entweder springen, oder das Wasser in feinen Strahlen oder auch nur durch merkliches Ausschwitzen entweichen lassen.

Ueber die Art, wie die letzte Probe angestellt wird, ist Mehreres zu erinnern. Wenn gutes Eisen angewendet und der

Guss mit der gehörigen Vorsicht in einer richtig aufgestellten Form bewirkt ist, auch sonst keine Zufälligkeiten ihn theilweise verdorben haben, so muss die Festigkeit der Röhre bei der angegebenen Wandstärke so gross sein, dass der Druck einer Wassersäule von mehreren hundert Fuss noch lange nicht einen Bruch herbeiführen kann; der Zweck der Probe ist nur die Ermittelung der zufällig dabei vorgekommenen grösseren Unregelmässigkeiten und der sehr schwachen Stellen. Diese werden aber bei einem vermehrten Drucke sich um so deutlicher zu erkennen geben, und sonach thut man wohl, einen solchen anzuwenden. D'Aubuisson, der bei der Wasserleitung zu Toulouse nur den Druck einer Wassersäule von 30 Meter anwendete, giebt den Rath, denselben auf 100 Meter oder 10 Atmosphären zu verstärken; dasselbe empfiehlt Génieys. Die Röhren der New-River Wasserleitung wurden wirklich auf 300 Fuss geprüft und diejenigen, welche Jardine in Edinburg verlegen liess, die auch einen Druck von mehr als 300 Fuss auszuhalten haben, sogar auf 800 Fuss. Die Probe lässt sich am bequemsten auf der Hütte selbst anstellen und dieses wird von den Lieferanten auch immer gewünscht; dabei bleiben aber alle diejenigen Beschädigungen unbemerkt, die beim Transporte und namentlich beim Auf- und Abladen noch vorkommen können. Man geht sonach weit sicherer, wenn der Lieferungscontract so abgeschlossen wird, dass der Transport gleich mit inbegriffen ist und auf der Baustelle unmittelbar vor dem Verlegen die Prüfung durch die Lieferanten vorgenommen werden muss.

Die Prüfung erfolgt, wie schon erwähnt, mittelst der hydraulischen Presse; dieselbe bedarf hier keiner Beschreibung, wohl aber ist der Apparat, worin die Röhren eingespannt werden, näher zu bezeichnen. Fig. 95 *a* zeigt ihn in der Ansicht von der Seite und Fig. 95 *b* von oben. Auf einem hölzernen Rahmen, der auch zugleich das Gestelle für die hydraulische Presse abgiebt, ist eine starke gusseiserne Platte *A* senkrecht aufgestellt und mit Schraubenbolzen befestigt, durch sie tritt das Druckrohr *D* der hydraulischen Presse hindurch. Zwei eiserne Zugstangen *B C* greifen gleichfalls durch diese Platte und werden durch Vorsteckbolzen daran gehalten. Eine zweite ebenso hohe gusseiserne Platte *E* steht ohne weitere Befestigung lose auf dem Rahmen

auf und lässt sich hin- und herschieben, indem sie nur durch die beiden Zugstangen *B C* gehalten wird. Hinter der letzten Platte befindet sich ein gusseiserner Riegel *F*, durch welchen die beiden Zugstangen gleichfalls durchgreifen und den sie mittelst Schraubenmuttern fest halten. In der Mitte dieses Riegels bewegt sich endlich die starke Schraube *G*, welche die zweite Platte *E* gegen die erste *A* presst. Man legt die zu prüfende Röhre auf passende Unterlager *H*, so dass die Axe der Röhre parallel mit den beiden Zugstangen und zwar in deren Mitte trifft, auch muss sie weder höher noch tiefer als diese zu liegen kommen. In diesem Falle trifft die Schraube *G* und das Druckrohr *D* gleichfalls in die Axe der Röhre. Alsdann dreht man die Schraubenmuttern am Ende der Zugstangen so weit, dass der Riegel *F* nicht weit von dem Ende der Röhre entfernt ist; man legt starke Lederringe oder geflochtene Kränze aus Hanf an beide Enden der Röhre und schiebt die Platten *A* und *E* dagegen. Indem man zuletzt noch die Schraube *G* fest anzieht, so ist die Röhre solide geschlossen und man bemerkt, dass, wenn dieselbe auch an beiden Enden nicht ganz genau parallel abgeschnitten sein sollte, doch die beiden Platten sich so weit drehen lassen, um einen genauen Schluss hervorzubringen. Nunmehr kommt es darauf an, die Röhre mit Wasser anzufüllen. Wollte man dieses durch die hydraulische Presse thun, so würde jede Probe überaus zeitraubend ausfallen, und überdies hätte man kein Mittel, die Luft zu entfernen. In der Platte *E* befinden sich zu diesem Zwecke verschiedene Paare von Oeffnungen, die mit Schrauben und vorgelegten Lederringen fest geschlossen werden können. Man öffnet zwei derselben, die noch in die Röhre, jedoch möglichst nahe an ihren obern Rand führen; in die eine stellt man den gekrümmten Ausguss eines Trichters, durch welchen man Wasser einfüllt, und die andere dient zum Entweichen der Luft. Kann man auf solche Art kein Wasser mehr hineintreiben, so schliesst man beide Oeffnungen und setzt die hydraulische Presse in Bewegung. Das Sicherheitsventil ist auf den Druck von 10 Atmosphären beschwert, und man pumpt so lange, bis dieses wiederholentlich aufspringt. Wenn die Röhre durch diesen Druck nicht beschädigt wird, noch auch Wasser durchlässt, so zeigt sie sich in dieser Beziehung als brauchbar. Hat man, wie dieses gewöhnlich geschieht, eine

Menge Röhren von gleicher Länge und gleicher Weite zu prüfen, so darf man jedesmal nur die Schraube *G* vor- oder zurückdrehen; im Uebrigen bleibt der Apparat unverändert, auch dürfen die Unterlager nicht mit andern verwechselt werden. Hat man aber Röhren zu prüfen, die viel kürzer sind, so muss man die Muttern am Ende der Zugstangen weiter aufschrauben, oder auch wohl die Zugstangen durch die Platten *A* zurückschieben, bis die passenden Löcher für die Durchsteckbolzen benutzt werden können. Zuweilen befestigt man die Platte *E* auf einem besonderen Wagen, der sich auf dem Rahmen vor- und zurückschieben lässt; doch wird dadurch der Apparat ohne wesentlichen Vortheil sehr complicirt; es ist nur nöthig, den hölzernen Rahmen da, wo die erwähnte Platte auf ihm verschoben werden soll, mit eisernen Schienen zu beschlagen, die auch zugleich eine genaue Führung für sie bilden.

Zur Zusammensetzung der gusseisernen Röhren versah man in früheren Zeiten jedes einzelne Stück derselben und zwar an jedem Ende mit einem vorstehenden Rande, worin sich nach Maassgabe der Weite der Röhre 4 bis 8 und wohl noch mehr Löcher befanden, durch die man eben so viele Schraubenbolzen einzog; Fig. 96 zeigt diese Verbindung. Um aber einen gehörig wasserdichten Schluss zu bewirken, ist dieser Rand nicht durch eine Ebene, sondern durch eine flach conische Fläche begrenzt. Eine ringförmige Bleiplatte, die auf jeder Seite noch mit einer getheerten Tuch- oder Lederscheibe versehen ist, legt man auf den Stoss zweier Röhren und zwar innerhalb der Schraubenbolzen; alsdann wird durch Anziehen der Muttern ein sehr dichter Schluss zunächst der innern Röhrenwand bewirkt, ohne dass die äussern Ränder mit einander in unmittelbare Berührung kommen. So fest die auf solche Art dargestellte Verbindung auch immer ist und wie sehr sie sich auch zur Zusammensetzung von Maschinentheilen eignet, so ist sie für einen längeren Röhrenstrang, dem man gern einige Biegsamkeit geben mag, eben aus diesem Grunde nicht passend. Ausserdem kann man hierbei die Wandstärke nicht in der Art vermindern, wie dieses oben angegeben ist, weil sonst zwischen ihr und dem Rande (der eine grössere Stärke erhalten muss) wegen der ungleichförmigen Erkaltung leicht ein Bruch erfolgt; und endlich ist die Verbindung wegen der vielen

Schraubenbolzen auch sehr kostbar, und dieses um so mehr, als die einzelnen Röhrenstücke, wenn sie in dieser Art und in der grösseren Wandstärke gegossen werden, gemeinhin nur 3 Fuss lang sind.

In neuerer Zeit ist man daher von dieser Form abgegangen und giebt dafür jeder Röhre an einer Seite einen weiten Hals, worin das Ende der folgenden Röhre hineingreift, wie Fig. 97 zeigt. Auf solche Art fassen die Röhren 4 bis 6 Zoll ineinander, und der freie Zwischenraum, der etwa der Wandstärke der Röhre gleichkommt, wird zur halben Länge mit aufgelockertem Tauwerk angefüllt und ausgestampft, alsdann aber macht man einen Lehmschlag herum und giesst die andere Hälfte mit Blei aus. Nachdem man den Lehm entfernt hat, wird mit einem passenden Eisen in dem Bleiringe eine Furche eingeschlagen, um den letzteren sowohl an die innere, als an die äussere Röhrenwand heranzutreiben und ihm dadurch die nöthige Wasserdichtigkeit zu geben. Dieser Schluss gewährt den Vortheil, dass der Röhrenstrang etwas Biegsamkeit behält und sich bei Temperaturveränderungen auch ein wenig herausziehen kann.

Eine andere Methode zur Dichtung der Fugen in dem erweiterten Halse besteht darin, dass man Eisenkitt, wie solcher zur Zusammensetzung von gusseisernen Maschinentheilen benutzt wird, hineinstreicht. Der gute Schluss, den dieser Kitt hervorbringt, beruht darauf, dass die blanken Eisenfeilspähne, woraus er grossentheils besteht, durch den Zusatz von Säuren und Wasser schnell oxydiren und sich dabei ausdehnen. Die gewöhnliche Zusammensetzung dieses Kitts ist folgende: man nimmt 2 Unzen salzsaures Ammoniak (Salmiak), 1 Unze Schwefelblumen und 16 Unzen Feilspähne oder Bohrspähne von Gusseisen; dieses reibt man in einem Mörser gut durcheinander und bewahrt es bis zum Gebrauche auf, indem man es vor dem Zutritte aller Feuchtigkeit schützt. Will man nun den Kitt bereiten, so nimmt man 1 Unze von diesem feinen Gemenge, vermischt sie mit 20 Unzen blanken Feil- oder Bohrspähnen von Gusseisen, reibt beides wieder in einem Mörser durcheinander und rührt so viel Wasser hinzu, dass es einen dicken Brei bildet. Den fertigen Kitt muss man bald verbrauchen; wenn er in die Fugen gestrichen wird, so füllt er beim Erhärten sie sehr dicht aus und verbindet die beiden Röhren-

stücke so fest, als wenn sie zusammengegossen wären. *) Es ist natürlich, dass bei dieser Verbindungsart der Vortheil einer geringen Biegsamkeit, welchen die Anwendung des Bleies gewährte, verschwindet.

Endlich kann man solche Röhren, die am Ende ineinander gesteckt sind, auch mit hölzernen Keilen dicht machen **), und diese Verbindung gewährt nicht nur den eben erwähnten Vorzug der ersten Methode, sondern sie ist auch mit einer ansehnlichen Kostenersparung verbunden. Die Wasserleitungen zu Norwich waren seit 40 und die zu New Castle upon Tyne seit 50 Jahren auf diese Art zusammengesetzt, als Wicksteed ums Jahr 1830 sie auch bei der East-London Wasserleitung in Anwendung bringen wollte. Dass sie wohlfeiler war, litt keinen Zweifel, und über die Dauer und den dichten Schluss der Verbindungsart gaben die bereits gemachten Erfahrungen volle Sicherheit. Es blieb nur zweifelhaft, ob bei einem stärkeren Drucke (nämlich von 100 Fuss oder darüber) die Keile herausgetrieben würden, was Viele behaupteten. Ein deshalb angestellter Versuch, wobei Röhren von 18, 5 und 3 Zoll Weite auf diese Art verbunden wurden, zeigte indessen den Ungrund einer solchen Besorgniss; der Druck wurde jedesmal bis zu 733 Fuss Englisch oder 712 Fuss Preussisch gesteigert, und kein Keil sprang heraus und überhaupt zeigte sich keine Undichtigkeit. Nunmehr genehmigte die Gesellschaft den Vorschlag, und die sämmtlichen Leitungsröhren, die im Ganzen 22 engl. Meilen lang waren, wurden in dieser Art verbunden. Die Verbindung zeigte sich als sehr dauerhaft und die Reparaturen waren geringer, als beim Blei oder beim Eisenkitt. Nach der Vergleichung, die Wicksteed mittheilt, ist das Verhältniss der Kosten der drei Verbindungsarten, nämlich mit Blei, mit Eisenkitt und mit Holzkeilen durchschnittlich wie 3 zu 2 zu 1. Bei weiten Röhren ist der Vortheil der letzten Art noch bedeutender, bei engen aber wegen der schwierigeren Arbeit merklich geringer, doch auch bei den 3 Zoll weiten Röhren erspart man gegen Blei noch die Hälfte.

*) *The Engineer's and mechanic's Encyclopedia.* London 1836, *Vol. I. pag.* 334.

**) *The Civil Engineer's and Architect's Journal. Vol. I. p.* 242.

Das Verfahren bei der Anfertigung und Einbringung der Holzkeile ist folgendes: man schneidet Kiefernstämme (*Danzig fir*) in 9 Zoll lange Klötze und spaltet sie mit der Axt in Stücke von etwa 2 Zoll Breite und ¾ Zoll Stärke, sie werden auf der Schneidebank mit einem Schneidemesser, das die Rundung der innern Röhre hat, auf der einen Seite concav cylindrisch geformt, auf der äussern Seite aber mit einem flacheren Schneidemesser kegel- oder keilförmig nach beiden Enden zugeschärft. Fig. 98 stellt diese Doppelkeile in der vordern Ansicht und im Längen- und Querdurchschnitte dar. Nun sägt man sie in der Mitte auseinander und so giebt jedes Stück zwei Keile. Auf den Seiten müssen sie gleichfalls glatt geschnitten werden. Sie sind alsdann zum Gebrauche fertig, man stellt sie im Kreise in die zu schliessende Fuge, und wenn sie nicht den ganzen Raum füllen, so spaltet man von einem Keile so viel ab, bis er sich an die beiden nächsten anschliesst. Nunmehr hält der Arbeiter ein passendes Holz darüber und schlägt mit dem Hammer immer im Kreise herum, so dass alle Keile gleichmässig eindringen. Ist er nicht im Stande sie ganz hineinzubringen, so wird der noch vorstehende Theil abgeschnitten. Am Schlusse jedes Tagewerkes füllt man den frischgelegten Theil mit Wasser und setzt ihn demjenigen Wasserdrucke aus, den er später erleiden kann; am leichtesten ist es also, dass man das Ende der letzten Röhre verstopft und das Wasser aus dem Speisebassin hineintreten lässt. Man untersucht nun sorgfältig jede Fuge, und wenn eine derselben nicht dicht war, so wird sie gezeichnet; in diese treibt man noch feine Keile ein, wie Fig. 99 dieses darstellt.

Wenn die Röhren so mit einander verbunden sind, dass immer eine in das erweiterte Ende der andern eingreift (Fig. 97), so tritt der Uebelstand ein, dass man eine einzelne schadhafte Röhre nicht herausnehmen und auswechseln kann, denn wenn man auch den Kitt oder das Blei oder Holz aus beiden nächsten Stössen herausbringt, so ist man doch immer noch nicht im Stande, die ganz lose liegende Röhre auszuheben. Diesem Uebelstande liesse sich schon begegnen, wenn man jede Röhre nicht bis ans Ende, sondern nur bis zur Mitte des erweiterten Halses reichen liesse; alsdann könnte man nämlich, sobald die Verbindung gelöst ist, jede Röhre so weit nach einer Seite schieben, dass

sie auf der andern frei würde. Dieses Mittel ist indessen nicht üblich, vielmehr legt man in Abständen von 100 bis 300 Fuss einzelne Röhren, die mit gar keinem Halse versehen sind und welche einen gusseisernen Ring lose tragen, dessen Länge der doppelten Länge des gewöhnlichen Halses gleichkommt. Dieser Ring wird, wie Fig. 100 zeigt, über denjenigen Stoss geschoben, wo der Hals fehlt, und man bringt von beiden Seiten dieselbe Dichtung an, wie bei den andern Röhren. Wird es nun nöthig, eine Röhre auszuwechseln, so muss man bis zur nächsten Stelle, wo ein solcher Ring sich befindet, die Röhren aufnehmen.

Bei gusseisernen Röhren lassen sich Abzweigungen unter jedem beliebigen Winkel sehr sicher anbringen, wenn man die passenden Wechselstücke, deren eines Fig. 101 Taf. X. im Durchschnitte zeigt, besonders hat giessen lassen. Man pflegt solchen Stücken indessen gewöhnlich keine grosse Länge zu geben, weil ihr Guss dadurch zu schwierig werden würde. Ebenso werden die Röhrenstücke, welche eine Krümmung bilden sollen, besonders gegossen, und wenn man diesen eine mässige Länge giebt, so kann man daraus jede beliebige Biegung zusammensetzen, ohne dass man verschieden geformte Stücke braucht. D'Aubuisson gab den einzelnen Stücken die Länge von 3 Fuss, und die Krümmung, die jedes derselben machte, entsprach einem Winkel von 15 Graden, oder ihr Krümmungshalbmesser betrug etwa $11\frac{1}{2}$ Fuss. Der Einfluss dieser Krümmung auf die Bewegung des Wassers war unmerklich und man konnte durch Zusammensetzung mehrerer solcher Stücke jede beliebige Aenderung in der Richtung hervorbringen.

Ueber die Verbindung der gusseisernen Röhren mit den hölzernen ist schon früher die Rede gewesen. Die Verbindung mit bleiernen Röhren stellt Fig. 102 dar; man erweitert nämlich die Bleiröhre an einem Ende, so dass sie eine Art von Rand erhält und zieht einen starken Ring aus Schmiedeeisen darüber, der gegen den Rand der gusseisernen Röhre geschraubt wird. Diese Verbindungsart kommt in Paris häufig vor, wo man in den kleineren Leitungen die Krümmungen gewöhnlich durch Bleiröhren darstellt. Will man aber schwache Bleiröhren von den gusseisernen abzweigen, wie dieses häufig der Fall ist, so wählt man die Verbindungsart, die Fig. 103 *a* in der Seitenansicht und

Fig. 103 *b* im Querschnitte gezeichnet ist. Am Ende der Bleiröhre wird ein breiter Rand, der gleichfalls aus Blei besteht, angelöthet, man versieht denselben unten mit dem getheerten Lederringe und legt ihn um die Seitenöffnung der gusseisernen Röhre. Nun wird die Hälfte von einer ringförmigen Zwinge aus Schmiedeeisen mit der darin angebrachten Oeffnung auf die Bleiröhre gezogen, und sobald man die Schrauben, welche sie mit der untern Hälfte verbinden, anzieht, so presst sich jener Bleirand genau schliessend an den äussern Umfang der gusseisernen Röhre.

Unter den Nebentheilen einer eisernen Röhrenleitung müssen zunächst die Hähne erwähnt werden; Fig. 104 *a* und *b* zeigt einen solchen in der Seitenansicht und im Durchschnitte. An die Röhre ist ein Kegel, der sie senkrecht durchschneidet, angegossen, und in diesem Kegel bewegt sich der gleichfalls kegelförmig gestaltete Hahn. Letzterer besteht gewöhnlich wieder aus Gusseisen, und er ist mit einer cylindrischen Oeffnung versehen, die der Weite der Röhre gleichkommt, so dass gar keine Verengung des Querschnittes erfolgt, sobald der Hahn ganz geöffnet ist. Dass der Hahn und ebenso auch die conische Oeffnung genau abgedreht und abgeschliffen sein müssen, darf kaum erwähnt werden, und ebenso ist es auch nur anzudeuten, dass der mittlere Durchmesser des Hahnes sich zur lichten Weite der Röhre mindestens wie 5 : 3 verhalten muss, indem sonst ein sicherer Schluss nicht mehr erfolgen kann. Endlich ist noch darauf aufmerksam zu machen, dass der Kegel, zu dem die äussere Fläche des Hahnes gehört, nicht zu spitz, auch nicht zu stumpf sein darf, denn im ersten Falle erfolgt ein starkes Klemmen, wodurch die Bewegung sehr erschwert wird, und im letzten erlangt man keinen dichten Schluss. Man wählt gemeinhin das Verhältniss des Kegels in der Art, dass der Durchmesser der Grundfläche dem siebenten bis fünften Theile der Höhe gleichkommt. Um das Heben des Hahnes zu verhindern, ist er unten mit einer Scheibe versehen, die entweder, wie hier gezeichnet, durch einen Keil gehalten wird, oder dieses geschieht mittelst einer oder mehrerer Schrauben; die erwähnte Scheibe darf indessen die untere Fläche des Hahnes nicht unmittelbar berühren, damit er gegen die umgebende Fläche immer angepresst werden kann, und sie muss so befestigt sein, dass sie sich mit dem Hahne zugleich

dreht, weil sie nur in diesem Falle solide mit ihm zu verbinden ist, desshalb muss der untere Zapfen des Hahnes viereckig sein. Die Drehung wird dem Hahne auf die einfachste Weise mittelst eines eisernen Hebels ertheilt.

So unentbehrlich diese Hähne bei den Wasserleitungen auch sind, so kann man sie doch füglich nur bei kleineren Röhren in Anwendung bringen, indem die Reibung in ihnen sonst zu bedeutend wird; schon bei sechs Zoll weiten Röhren kommen sie selten vor und sie sind alsdann sehr schwer zu bewegen. Bei der Wasserleitung in Toulouse benutzte man sie nur bei Röhren, die weniger als $4\frac{1}{2}$ Zoll im Durchmesser hielten. Girard brachte bei Gelegenheit der Ausführung der Leitungen in Paris, die durch den Ourcq-Canal gespeist werden, die Aenderung an, dass er auf dem oberen Zapfen des Hahnes ein gezahntes Rad befestigte, welches durch zwei einander gegenüberstehende Getriebe mittelst Curbeln bewegt wird. Insofern diese beiden Curbeln gleichmässig angezogen werden, so verursachen sie keinen vermehrten Druck auf die Seitenfläche des Hahnes und sonach auch keine grössere Reibung, welche durch eine einzelne Curbel hervorgebracht werden würde. Ausserdem brachte Girard sowohl über, als unter dem Hahne und zwar in der Axe desselben noch Schrauben an, mittelst deren der Hahn gehoben oder gesenkt und dadurch so gestellt werden konnte, dass er, ohne sich zu stark zu klemmen, doch gehörig schloss; und endlich wurde hierbei noch die Aenderung eingeführt, dass der Hahn, der aus Glockenmetall bestand, hohl gegossen war. Auf diese Art wendete Girard die Hähne noch bei Röhren an, die beinahe 10 Zoll im Durchmesser hielten.

Bei weiteren Röhren lässt sich indessen der Hahn gar nicht mehr anwenden, und unter den Vorrichtungen, die man hier benutzt, um den Durchfluss zu sperren, ist besonders das Schiebeventil im Gebrauche, welches die Fig. 105 *a*, *b* und *c* in der Seitenansicht und im Längen- und Querdurchschnitte zeigt. Zur Erklärung dieser Figuren darf nur erwähnt werden, dass die Bewegung durch eine Schraube mitgetheilt wird, deren Kopf durch eine Stopfbüchse geht, die also neben sich kein Wasser durchfliessen lässt. Sie fasst nicht unmittelbar den umgebogenen Rand des Schiebers, sondern eine in denselben lose eingesetzte Mutter, wodurch sie etwas Spielraum bekommt und nicht sogleich klemmt.

Das Schieberventil selbst besteht entweder aus Messing oder Glockenmetall, oder es ist wenigstens ein solcher Ring darauf gesetzt, der, wenn es ganz geschlossen ist, auf einem gleichen Ringe in der Verlängerung der Röhrenwand genau schliessend aufliegt und sonach den Durchfluss des Wassers vollständig sperrt. Wenn das Wasser sich in der (Fig. 105 *b*) durch den Pfeil angedeuteten Richtung bewegt, so kann das Ventil zwar nicht auf beiden Seiten dicht schliessen, wenigstens wird dieses nicht für die Dauer stattfinden, aber das davorstehende Wasser wird es nach der linken Seite drücken und dadurch selbst verhindert werden, in den untern Theil der Leitung zu gelangen, wenn es auch mit dem Innern des Kastens, worin die Schraube sich bewegt, in Verbindung bleibt.

Zuweilen ist es nöthig, das Zurückfliessen des Wassers durch besondere Vorrichtungen zu verhindern; so z. B. wäre dieses der Fall, wenn man abwechselnd aus demselben Reservoir, oder durch dieselbe Maschine zwei Leitungen speisen wollte, von denen die eine viel höher liegt, als die andere, und jene daher in diese sich entleeren würde. Man bringt alsdann das Fig. 106 *a* und *b* in der Seitenansicht und im Durchschnitte dargestellte Ventil an, dessen Einrichtung sich aus der Figur vollständig erklärt.

Eine besondere Erwähnung verdient endlich noch die Art, wie man die Mündung einer Röhrenleitung öffnet oder schliesst; es können hierbei Kegel- oder Klappenventile gebraucht werden, die sich mittelst irgend einer einfachen Vorrichtung von oben aus bewegen lassen. Bei der Speisung der Pariser Wasserleitung aus dem Ourcq-Canal benutzte Girard hierzu kupferne Röhren, die unten das Kegelventil bildeten. Die Figuren 107 *a* und *b* zeigen die ganze Vorrichtung im Längendurchschnitte und in der Ansicht von oben. Sieben Stück gekrümmte gusseiserne Röhren von 10 Zoll Durchmesser schöpfen das Wasser in der Tiefe von 5 Fuss unter dem gewöhnlichen Wasserspiegel des Bassins la Villette. Ihre Mündungen sind conisch und zwar nach der Form des contrahirten Strahles ausgeschliffen. Senkrecht über ihnen schweben eben so viele Röhren aus Kupferblech, jede von $6\frac{1}{2}$ Fuss Länge *),

*) Die Figur ist, um die einzelnen Theile noch deutlich darzustellen, etwas verkürzt.

die man an eisernen Hebeln heben und senken kann; damit diese Röhren aber immer in der Achse der Einflussmündung bleiben, so sind die Ketten, an welchen sie hängen, um eiserne Bögen am vordern Ende der Hebel geführt. Jede Röhre ist endlich durch drei eiserne Ringe im Innern verstärkt und hat unten einen starken messingenen Ring, der genau an die aufwärts gerichtete Mündung des Schöpfrohres sich anschliesst. Durch diese Vorrichtung kann man noch den Vortheil erreichen, dass beim schnellen Schlusse der Mündung die Wassermenge, die in der Röhre sich bewegt, nicht plötzlich zur Ruhe kommen darf, wobei die Gefahr eines heftigen Stosses, wie bei einem Stossheber, eintreten würde. Die messingene Röhre ist nämlich oben offen, und sobald sie den Zutritt des Wassers sperrt, so schöpft sie gleich Luft und erlaubt dem Wasser sich noch so lange fortzubewegen, bis es bei dem abnehmenden Drucke seine lebendige Kraft vollständig vernichtet hat.

Demnächst müssen die gusseisernen Wasserleitungen ebenso wie die andern auch Luftspunde enthalten, doch dürfen diese wegen der grösseren Vorsicht, die beim Schöpfen des Wassers angewandt wird und bei der sorgfältigeren Legung der Röhren gemeinhin in grösseren Abständen sich befinden, als oben für die hölzernen Röhren angegeben ist. Wo die Localität es erlaubt, kann eine dünne Bleiröhre, die bis über das Niveau des Speisebassins heraufreicht, als Luftrohr dienen, welches dann keine weitere Beaufsichtigung erfordert; doch findet sich zur Anbringung eines solchen Luftrohres selten die Gelegenheit. Am häufigsten stellt man die Luftröhren dar, indem man kurze aufwärts gerichtete Zweigröhren von Gusseisen anbringt, deren oberes Ende durch einen Hahn geschlossen ist. Beim Anlassen der Röhren und auch sonst zuweilen während des Betriebes öffnet man diesen Hahn und schliesst ihn, sobald Wasser ausströmt. Man kann statt des Hahnes auch ein Kegelventil anbringen, das gemeinhin in diesem Falle sich nach unten öffnet und an einem hervorragenden Stiele herabgedrückt wird. Zuweilen hat man auch Ventile mit Schwimmern angebracht, die so eingerichtet sind, dass sie sich nach Bedürfniss von selbst öffnen und schliessen. Fig. 108 zeigt ein solches, wie es in Edinburgh ausgeführt ist, und zwar ist *a* die Seitenansicht und *b* der Querschnitt. Das Ventil ist

hier geöffnet dargestellt. Sein Stiel wird theils durch die Oeffnung im Boden der messingenen Büchse, worin die Ventilöffnung sich befindet, und theils unter dem Schwimmer durch einen Ring gehalten, welcher durch drei Arme sich mittelst Schrauben so stellen lässt, dass das Ventil genau die Oeffnung schliessen kann. Wenn die Röhre leer ist, ruht der Schwimmer auf dem erwähnten Ringe und beim Eintreten des Wassers findet die Luft durch die Ventilöffnung einen freien Ausgang. Sobald aber das Wasser die Leitungsröhre gefüllt hat und in die senkrechte Ansatzröhre zu steigen anfängt, so hebt es den Schwimmer und mit ihm das Ventil. Letzteres wird also von selbst geschlossen, sobald der starke Wasserdruck zu wirken anfängt. Aber auch die Luft, welche während der Wirksamkeit der Leitung sich im Cylinder sammelt, wird Veranlassung, dass der Schwimmer nicht mehr getragen wird, und indem er herabfällt, öffnet sich das Ventil so lange, bis das Wasser wieder in die Röhre tritt. Es wird indessen diese letzte Art der Wirksamkeit vereitelt werden, wenn der Wasserdruck so gross ist, dass durch die Spannung der Luft unter dem Ventile dasselbe getragen wird. Es kommt auch noch der Uebelstand dazu, dass solche Ventile sich oft sehr fest saugen, und daher ist es nöthig, dass sie von Zeit zu Zeit herabgestossen werden; indem sie aber auf diese Art sich nicht selbst überlassen bleiben dürfen, so schenkt man ihnen in der neuesten Zeit kein grosses Vertrauen mehr und wendet statt ihrer gewöhnlich den Hahn an.

In den tiefsten Stellen der Leitungen, oder wo man sonst ein besonders starkes Absetzen von Sand oder Schlamm besorgt, bringt man an der untern Seite der Leitungsröhren kurze und weite Abzweigungen an, die mit einem Hahne geschlossen sind; durch diese werden die Niederschläge sehr sicher und leicht entfernt, man muss aber dafür sorgen, dass das herausstürzende Wasser auch gehörig abfliessen kann.

Um zu verhindern, dass die Röhre beim schnellen Schliessen eines Hahnes oder einer Klappe nicht einen gar zu heftigen Stoss erleidet, sind die Luftventile von grossem Nutzen. Oberhalb der Stelle aber, wo die Sperrung erfolgt, muss ein gehörig beschwertes Ventil, ganz ähnlich einem Sicherheitsventile, eingerichtet sein und nach aussen aufschlagen. Das sicherste Mittel, um solche

Stösse zu vermeiden, ist aber immer eine möglichst langsame Bewegung der Hähne oder der sonstigen Vorrichtungen, und hierin besteht auch ein Vorzug des Schiebeventils Fig. 105, welches man wegen der langsamen Wirksamkeit der Schraube nicht plötzlich schliessen kann.

Wenn die gusseisernen Röhren mittelst vorstehender Ränder mit einander verbunden sind (Fig. 96), oder wenn sie in die erweiterten Hälse eingreifen (Fig. 97) und durch Eisenkitt gedichtet werden, so bilden sie in dem einen, wie in dem andern Falle einen so festen Strang, dass eine Verlängerung oder Verkürzung desselben gar nicht erfolgen kann. Sind nun die Enden einer solchen Leitung, wie dieses gewöhnlich geschieht, eingemauert, so werden bei einer starken Temperaturveränderung die Röhren in den Befestigungspunkten lose, auch leidet wohl die Mauer, oder die Röhren reissen oder werden wenigstens undicht. Die Veranlassung davon ist die Ausdehnung oder Verkürzung des Röhrenstranges durch Wärme oder Kälte; nach Tretgold's Beobachtungen dehnt sich das Gusseisen bei der Erwärmung vom Gefrierpunkte bis zum Siedepunkte des Wassers um 0,00111 seiner Länge aus; Girard hat die Ausdehnung durch Beobachtung der Compensationsstücke in den Wasserleitungen um den neunten Theil geringer gefunden. *) Nimmt man an, dass die Ausdehnung zwischen diesen Punkten den tausendsten Theil beträgt, so würde eine Temperaturdifferenz von 16 Graden Réaumur, die man im Wasser des Ourcq-Canals bei Paris wirklich beobachtet hat, noch eine Aenderung in der Länge, die beinahe dem sechstausendsten Theile gleich wäre, veranlassen, oder ein Röhrenstrang von einer Viertelmeile Länge würde sich ungefähr um einen Fuss ausdehnen. Um hierzu die Gelegenheit zu geben, hat man besondere Compensationsstücke in den Leitungen angebracht, die sich verlängern und verkürzen können. Eine ältere Methode zu ihrer Darstellung bestand darin, dass ein gusseiserner Reif von viel grösserem Durchmesser als die Leitungsröhren zwischen zwei der letzteren concentrisch gestellt und durch zwei dünne kreisförmige Kupferscheiben damit verbunden wurde; es bildete sich auf solche Art in der Röhrenleitung ein kurzer, aber weiter und hohler

*) *Journal du Génie Civil.* 1831.

Cylinder, dessen beide Grundflächen nicht steif, sondern biegsam waren, und indem an dieselben die nächsten Röhren befestigt waren, so konnten sie diese Grundflächen etwas ausbauchen oder eindrücken, ohne dass dadurch ein Bruch oder eine Undichtigkeit entstand. Diese Vorrichtungen scheinen jedoch nicht die nöthige Solidität besessen zu haben, wesshalb man statt ihrer bald andere angebracht hat. Am gewöhnlichsten ist die Fig. 109 *a* und *b* in der Seitenansicht und im Durchschnitte dargestellte Compensation. Es kann nämlich die Röhre *A* sich in die Röhre *B* weiter hinein- oder aus derselben hinausschieben, und damit sie in jeder Stellung gehörig geschlossen ist, so bewegt sie sich in einer vollständigen Stopfbüchse; sie ist deshalb in der äussern Fläche abgedreht und polirt und wird von einem ringförmigen Polster fest umschlossen; das letzte liegt aber im Halse der Röhre *B* und lehnt sich gegen den Ring *C*. Sobald das Polster nicht gehörig schliesst und das Wasser neben demselben zu entweichen anfängt, kann man mittelst der sechs oder acht Schraubenbolzen, welche durch die vorstehenden Ränder der Röhre *B* und des Ringes *C* gezogen sind, dieselben näher zusammenbringen und dadurch das Polster schärfer anpressen. Diese Vorrichtung ist jedoch nur anwendbar, wo die Röhre zugänglich ist, also wo sie ganz frei oder in einer Gallerie liegt, und dieses ist gewöhnlich nicht der Fall. Bei den Wasserleitungen in Paris brachte man solche Compensationen alle 100 Meter oder in 318 Fuss Entfernung von einander an, auch in England sind sie vielfach gebraucht; man entbehrt sie jedoch, wenn man die Röhren nach Fig. 97 ineinander schiebt und die Fugen mit Blei ausgiesst, oder mit Holzkeilen dichtet. Wenn es hierbei auch immer nicht vermieden wird, dass durch das wiederholte Ausziehen sich nach und nach Lecke bilden, so ist die Gefahr doch nicht so gross wie bei der ganz steifen Verbindung der Röhren. Man hat auch mehrfach versucht, elastische Kitte anzuwenden, wodurch man jeden nachtheiligen Einfluss der Temperaturveränderung vermeiden will.

Was das Verlegen der gusseisernen Röhren betrifft, so treten hier dieselben Rücksichten ein, welche bereits oben erwähnt sind. Am vortheilhaftesten ist es, wenn sie in unterirdischen Gallerien liegen, wie dieses bei grösseren Leitungen gewöhnlich geschieht. Fig. 110 *c* zeigt den Querschnitt der Gallerie, worin

in Paris die Leitungsröhren von der Anhöhe am nördlichen Rande der Stadt nach dem tieferen Theile, zunächst der Seine herabsteigen. Die Röhren liegen theils auf hölzernen und theils auf steinernen Unterlagen, die im Mittel 4 Fuss von einander entfernt sind, und man hat sonach Gelegenheit, sie von allen Seiten zu untersuchen, und wo es nöthig ist, die Fugen zu dichten und sonstige Reparaturen vorzunehmen. In andern Fällen werden die Röhren in der Gallerie durch gusseiserne Stühle getragen.

Die Kosten für solche Gallerien sind indessen so bedeutend, dass man nur selten, und jedesmal nur für die Hauptleitungsröhren, sich zu ihrer Anlage entschliesst. Will man sie vermeiden, so kann man die Röhren entweder unmittelbar in dem Boden, oder noch in andern kleineren bedeckten Gängen verlegen. In Paris hielt man früher das Vorhandensein der vielen überwölbten Abzugsrinnen (*égouts*), die so geräumig sind, dass ein Mann noch gebückt durchgehen kann, in dieser Beziehung für einen grossen Gewinn; man vermauerte darin steinerne Consolen und legte auf diese die Wasserröhren. Der Erfolg war jedoch keineswegs günstig, denn die Untersuchung der Röhren war wegen der ungesunden Luft und des Schmutzes in diesen Abzugsrinnen viel schwieriger, als da, wo die Röhren unmittelbar unter dem Strassenpflaster lagen, und ausserdem konnte man bei jeder vorzunehmenden Reparatur und beim Gebrauche der Luftspunde und Hähne nicht vorsichtig genug sein, um eine Verunreinigung des Wassers zu verhindern. Demnächst hat man auch die Röhren, um sie vor den Stössen des darüber gehenden Fuhrwerkes zu sichern, in kleine gemauerte Canäle gelegt, die nur eben den nöthigen Raum für die Röhren selbst haben, und welche mit Steinplatten bedeckt werden. Hier zeigt sich indessen wieder die grosse Unbequemlichkeit, dass man, sobald ein Wasserverlust eintritt, gar nicht weiss, wo man die schadhafte Stelle suchen soll, indem das ausfliessende Wasser den Canal verfolgt und oft erst in grosser Entfernung von der zersprungenen Röhre oder der undichten Fuge zum Vorschein kommt. So zeigten sich in einem solchen Falle in der Strasse Bondy in Paris die Quellen in einer Entfernung von fast 300 Fuss, und man war daher gezwungen, auf eine grosse Länge das Pflaster vergeblich aufzureissen und nachzugraben, bis man endlich den Schaden fand. Anders verhält es sich, wenn die Röhren un-

mittelbar in dem Erdboden vergraben und überschüttet sind; die schadhafte Stelle giebt sich alsdann sogleich durch das Einsinken des Pflasters zu erkennen und die Gefahr wegen der Erschütterungen verschwindet bei einem sorgfältigen Verlegen der Röhren und bei Anwendung einer von denjenigen Zusammensetzungsarten, die dem Röhrenstrange etwas Biegsamkeit lassen; nur an den Stellen, wo besonders grosse Lasten darüber gefahren, oder darauf geworfen und geschoben werden, wie vor den Werkstätten der Steinhauer, bemerkt man noch besonders häufige Beschädigungen. Will man die Röhren auf die letzterwähnte Art verlegen, so gräbt man etwa 3 Fuss tief den Boden auf, stampft ihn recht fest an, beschüttet die Röhre mit Erde und stampft auch diese sorgfältig an, ehe das Pflaster aufgebracht wird.

Zuweilen ereignet es sich, dass man die Leitungsröhren von dem einen Ufer eines Flusses nach dem andern hinüberführen muss; bei kleinen und seichten Flussbetten und eben so, wenn massive Brücken vorhanden sind, zeigen sich hierbei keine grossen Schwierigkeiten, aber sehr bedeutend werden dieselben, sobald keiner von diesen Umständen eintritt. Man hat in England in neuerer Zeit zu diesem Zwecke flexible Röhrenstränge angewendet, die durch Charniere in ihren einzelnen Theilen mit einander verbunden sind, und welche daher, ohne dass man das Flussbette trocken zu legen braucht, in demselben versenkt werden. Der erste Versuch dieser Art wurde bei den Wasserleitungen zu Glasgow gemacht, wo die Speisequellen sich am linken Ufer der Clyde befinden, während der grösste Theil der Stadt auf dem rechten Ufer liegt. — James Watt legte im Jahre 1810 den biegsamen Röhrenstrang, den Fig. 111 Taf. XI darstellt, quer durch die Clyde. Die Leitung hatte eine Weite von 15 Zoll, die Röhren waren theils auf gewöhnliche Art mit einander verbunden, und wo dieses der Fall war, durch steife hölzerne Rahmen unterstützt; die Biegungen oder Charniere waren dagegen ähnlich der zum Aufstellen der gewöhnlichen Messinstrumente üblichen Nuss, durch Kugelsegmente gebildet, die sich in einander bewegen konnten; in der äussern Kugelschale befindet sich aber ein Ring von Werg, der ähnlich, wie bei der Stopfbüchse, durch einen Deckel angedrückt werden kann. Der grösste Durchmesser der Kugel, um welche die Drehung erfolgt, ist zugleich die Axe des Charniers,

das beide zunächst liegenden hölzernen Rahmen mit einander verbindet. Um zufälligen Beschädigungen vorzubeugen, war jedes Gelenk mit wasserdichter Leinwand lose umwunden, und der ganze Strang wurde dadurch noch gesichert, dass man ihn nicht auf das natürliche Flussbette legte, sondern man zuvor eine Rinne quer durch den Fluss ausbaggerte, hierin die Leitung versenkte und den Raum darüber mit Kies beschüttete. Die Versenkung geschah, um ein scharfes Biegen zu verhindern, möglichst gleichmässig von Flössen aus, und man hatte nach Ausweis der Figur darauf Rücksicht genommen, ungefähr einen gleichen Druck im Innern, wie im Flusse darzustellen, wodurch die Veranlassung zu einem starken Durchquellen vermieden wurde. Fig. 112 zeigt diese Construction im Detail, nämlich Fig. 112 *a* in der Seitenansicht, *b* im Längendurchschnitte und *c* in der Ansicht von oben. *) Wegen der grösseren Ausdehnung der Wasserleitungen in Glasgow wurde 1828 eine zweite Röhre von 28 Zoll Durchmesser und später noch eine dritte von 36 Zoll versenkt. Auch an andern Orten hat man in der Folge ähnliche Leitungen angelegt; so liess die Middlesex-Wasserleitungsgesellschaft oberhalb London eine 3 Fuss weite Röhrenleitung durch die Themse legen; sie bestand aus 68 einzelnen Röhren von 9 Fuss Länge, die sämmtlich durch Kugelflächen mit einander verbunden waren. Es ist interessant, dass der Ingénieur, nachdem die Leitung gelegt war, hindurchkroch, woraus man ersieht, dass ungeachtet des verschiedenen Wasserdruckes dennoch ein guter Schluss in den Fugen stattfand.

Endlich muss hier noch von der Oxydation der gusseisernen Wasserleitungsröhren die Rede sein, worauf vor wenigen Jahren die Aufmerksamkeit der Hydrotekten auf eine höchst beunruhigende Weise gerichtet wurde. Im Anfange des Jahres 1826 war nämlich in Grenoble eine Leitung angelegt worden, die Anfangs 1431 Liter und im Jahre 1833 deren nur noch 680 gab. Der Grund von dieser sehr bedeutenden Verminderung ihrer Ergiebigkeit lag in einer Verengung der Röhre durch grosse Massen Eisenrost, die sich ziemlich unregelmässig an der innern Wand abgesetzt hatten. Eine Commission, bestehend aus mehreren

*) Matthews *hydraulia pag.* 149. und *Civil engineer and architect's Journal* 1839. *pag.* 451.

Hydrotecten, worunter auch Vicat und Gueymard sich befanden, untersuchte die näheren Umstände dieser ganz unerwarteten und, wie es schien, sonst nirgend wahrgenommenen Erscheinung. Aus dem unter dem 22. Nov. 1833 von derselben erstatteten Berichte*) ergiebt es sich, dass die Röhre keineswegs durchweg angegriffen war, sondern es fanden sich nur stellenweise, aber oft in grossen Haufen diese Stücke Eisenoxyd, die man Eisenknollen (*tubercules ferrugineux*) nannte. Sie hatten im Allgemeinen die Gestalt einer halben Birne, deren Spitze nach der Richtung gekehrt war, von wo das Wasser herkam; ihre Höhe betrug oft bis 10 Linien. Sie waren schwarz, nahmen an der Luft aber bald eine hellbraune Farbe an und bestanden aus einer schaligen Masse, die grossentheils leicht zerreiblich, doch in einzelnen Schichten auch eine sehr grosse Härte zeigte. Die chemische Untersuchung ergab, dass sie in der Hauptmasse aus verschiedenen Oxydationsstufen des Eisens bestanden.

Indem man nach dem Bekanntwerden dieser Erscheinung auch andere gusseiserne Leitungsröhren untersuchte, so fand man sie fast überall vor, nur freilich nirgend in solcher Masse und solcher Grösse, wie hier. So fanden sie sich in einer Leitung des Departements Ardèche, und ferner in Paris sowohl in den Leitungen, die vom Ourcq-Canal, als denen, die von der Seine gespeist werden; sie zeigten sich auch an Roststäben und wo Gusseisen mit Seewasser in Berührung stand. Es war also ihr Vorkommen weder eine Folge der eigenthümlichen Beschaffenheit des Wassers, noch der Zusammensetzungsart der Röhren.

Nach vielfachen Discussionen über die Ursache der Erscheinung und über die Mittel, um derselben vorzubeugen, fand zuletzt die Ansicht Eingang, dass das Oxygen der im Wasser enthaltenen Luft die Oxydation bewirke und diese vorzugsweise sich da zeige, wo gerade Stellen von grauem Gusseisen vorhanden sind. Man meinte jedoch, dass auch hier das Zutreten von etwas Alkali oder einem andern fremden Körper die nächste Ursache zur Oxydation wäre, und sobald diese eingetreten, sie sich mit Leichtigkeit weiter fortsetze. Auffallend war es aber, dass in den drei folgenden Jahren sich keine weitere Abnahme in der Ergiebigkeit der Röhren

*) *Annales des ponts et chaussées.* 1834. *I. p.* 355.

zu Grenoble zu erkennen gab, und sonach die Knollen sich weder zu vermehren, noch auch zu wachsen schienen.

Das Mittel, welches man zur Sicherung der Röhren in Vorschlag brachte und bereits versucht hat, besteht in der Anbringung eines Ueberzuges, um das Wasser im Innern der Röhre gar nicht mehr in unmittelbarer Berührung mit dem Eisen treten zu lassen. Vicat wählte dazu hydraulischen Mörtel und Juncker bei den Leitungsröhren der Maschine zu Huelgoat eine Mischung von Leinöl mit Bleiglätte, welche er vermöge eines sehr starken Druckes in das Gusseisen hineintrieb. Inwiefern diese Mittel genügen, oder welche sonst den Vorzug verdienen, ist zur Zeit noch unentschieden. *)

§. 24.

Versorgung grosser Städte mit Wasser.

Bei der Versorgung grösserer Städte mit Wasser bezieht sich das nächste Bedürfniss auf diejenige Wassermenge, welche die Einwohner theils unmittelbar zum Trinken, theils aber zur Zubereitung der Speisen gebrauchen. Dieses muss nicht nur klar, sondern auch rein und wenigstens von schädlichen und solchen Stoffen frei sein, die sich durch unangenehmen Geschmack oder Geruch zu erkennen geben. In geringerem Grade findet diese Bedingung auch bei demjenigen Wasser Statt, welches zur Reinigung der Wäsche, der Wohnungen und zu ähnlichen Zwecken benutzt wird. Endlich aber pflegt man bei Anlage von Wasserleitungen auch auf andere Bedürfnisse, wie die Spühlung der Strassen, die Versorgung von Springbrunnen und Feuerspritzen und dergleichen Rücksicht zu nehmen, wobei die Reinheit des Wassers am wenigsten erforderlich wäre; man kann aber ohne grosse Vermehrung der Anlage- und Betriebskosten das für diese verschiedenen Zwecke bestimmte Wasser nicht trennen, und sonach pflegt man die Leitungen überhaupt nur mit reinem Wasser zu speisen. Es kommen indessen nicht immer die sämmtlichen er-

*) In den *Annales des ponts et chaussées* befinden sich viele Aufsätze über diesen Gegenstand, besonders wichtig ist der kurze Auszug verschiedener Memoiren von Payen im Jahrgange 1837. II. S. 358.

wähnten Zwecke in Betracht, und namentlich giebt es in England eine grosse Anzahl von Anlagen dieser Art, welche das Wasser nur in die Privathäuser leiten. Hiernach stellt sich der **Bedarf** einer Stadt, wenn man die Einwohnerzahl als Maassstab wählt, auch sehr verschieden heraus. Als der Ourcq-Canal angelegt wurde, nahm man an, dass jeder Einwohner täglich nur 5 Liter oder $\frac{1}{6}$ Cubikfuss gebrauche, man überzeugte sich aber später, dass jedes Individuum nur für den persönlichen Bedarf schon $\frac{1}{1000}$ Wasserzoll, oder $\frac{2}{3}$ Cubikfuss braucht; wenn aber zugleich die öffentlichen Zwecke mit berücksichtigt werden, so muss man auf jeden Einwohner mindestens 2 Cubikfuss rechnen. In Toulouse legte man den Satz von 2,59 Cubikfuss (80 Liter) zum Grunde, und Mallet giebt die Quantität Wasser, die in den vorzüglichsten Städten Grossbritanniens auf jedes einzelne Individuum trifft, folgendermaassen an:

in London	2,59	Preuss. Cubikfuss
Manchester . .	1,42	- -
Liverpool . . .	0,89	- -
Glasgow . . .	3,23	- -
Edinburgh . . .	2,00	- -

In London scheint aber seit dieser Zeit (1829) das Wasserquantum ausserordentlich vermehrt zu sein, wenigstens wird in einer Kritik des Projectes zur Wasserleitung in Leeds*) angeführt, dass die Londoner Wasserleitungen jedem Einwohner die folgende Quantität zuführen, nämlich

die Grand Junction-Leitung . .	10,66	Pr. Cubikfuss
- Southwark	5,00	- -
- New River	7,06	- -
- West Middlesex	5,37	- -
- Chelsea	4,92	- -
und die East London-Leitung . . .	3,53	- -

und das Bedürfniss wird daselbst auf durchschnittlich nahe 6 Cubikfuss angegeben.

Es ergiebt sich hieraus eine solche Verschiedenheit des Bedarfes, dass man im Allgemeinen nur bemerkt, wie zur Befriedigung des äussersten Bedürfnisses eine sehr geringe Wassermenge genügt;

*) *The Civil engeneer and Architect's Journal.* 1839. *p.* 186.

so wird auf Seeschiffen bei längeren Reisen kaum $\frac{1}{11}$ Cubikfuss auf den Mann gerechnet, und es würde für viele Orte ein grosser Gewinn sein, wenn auch nur kleine Quantitäten trinkbaren Wassers denselben zugeführt würden; sobald aber durch Anlage von Leitungen das reine Wasser wohlfeiler wird, so steigert sich die Benutzung und das Bedürfniss desselben in solchem Grade, dass vielleicht die höchsten der vorstehenden Sätze noch immer nicht die äusserste Grenze bezeichnen.

Bei jedem Projecte zu einer Wasserleitung wird man immer ein bestimmtes Quantum zum Grunde legen müssen, weil hiernach die Weite und Ausdehnung der Röhrenleitungen und alle sonst damit in Verbindung stehenden Anlagen bestimmt werden müssen; dieses Quantum kann aber, wie bereits früher bemerkt ist, entweder durch Abfangung von Quellen mit Benutzung von deren natürlicher Höhenlage, oder aus tiefer liegenden Strombetten und sonstigen Wasserbecken mittelst Pumpen gewonnen werden; jedenfalls muss es sich in solcher Höhe befinden, dass es durch sein Gefälle nach allen Plätzen und Strassen, die man damit versorgen will, geführt werden kann. In manchen Fällen ist wegen der Klärung oder der Ansammlung des Wassers bei ungleichmässigem Zuflusse schon die Anlage von grossen Reservoiren am Anfange der Leitung nothwendig, in andern Fällen aber fehlt eine solche directe Veranlassung, und namentlich geschieht dieses, wenn durch Pumpen das Wasser gehoben wird. Es entsteht alsdann die Frage, ob man solche Reservoire anlegen muss, oder ob man sie entbehren kann. Beides kommt wirklich vor; so sammelt sich in Paris das Wasser, welches die Maschine Chaillot hebt, in grossen Bassins auf der ohnfern belegenen Anhöhe; die gegenüberliegende Maschine Gros-Caillou dagegen hat kein solches Bassin und giesst das eben gehobene Wasser unmittelbar in die Leitungsröhren. Dasselbe geschieht auch bei dem Pumpwerke zu Toulouse, und in England findet man gleichfalls Beispiele von der einen und der andern Anordnung. Es ist nicht zu leugnen, dass dergleichen grosse Speisebassins manche wesentlichen Vortheile gewähren; man kann die Maschinen einige Zeit hindurch ausser Dienst setzen und die nöthigen Reparaturen daran vornehmen, ohne dass die Wasserleitung zu wirken aufhört, und man kann auch, wenn das Bedürfniss auf einige Zeit in hohem

Grade gesteigert wird, wie etwa bei einem grossen Brande, das Wasserquantum weit über die gewöhnliche Ergiebigkeit der Leitung vermehren. Dagegen ist die Anlage solcher hochgelegenen Speisebassins häufig überaus schwierig und zuweilen ganz unmöglich, da man sie bei ihrer nöthigen Ausdehnung wohl nur auf eine natürliche Anhöhe stellen darf; wenn nun aber hierzu die Gelegenheit auch wirklich vorhanden wäre, so ist im Innern oder neben grossen Städten, wovon hier allein die Rede ist, ein solcher Platz oft gar nicht käuflich, oder er wäre wegen der bereits davon gemachten anderweitigen Benutzung nur für einen ganz unverhältnissmässig hohen Preis zu erstehen. Demnächst muss man aber auch immer sehr aufmerksam sein, dass das Wasser durch die Schöpfmaschinen nicht zu hoch gehoben wird, was einen überflüssigen Kraftaufwand und eine entsprechende Kostenverschwendung verursachen würde. Bei verschiedener Höhenlage der einzelnen Theile der Stadt, welche durch dieselbe Maschine gespeist werden sollen, darf man also nicht alles Wasser in hochgelegene Bassins heben, von wo es dann ganz unnütz wieder herabfällt. Wollte man aber die Bassins in verschiedenen Höhen anlegen, so würde dieses Verfahren viel zu kostbar ausfallen und es giebt dafür auch wohl kein Beispiel. Man treibt daher gewöhnlich das Wasser unmittelbar in die Leitungsröhren, und die Maschine entwickelt jedesmal nur diejenige Kraft, welche nöthig ist, um eine oder die andere Leitung, oder gleichzeitig mehrere derselben in Thätigkeit zu setzen.

Was die Vertheilung des Wassers betrifft, so muss die Speisung der öffentlichen Brunnen als der wichtigste Zweck der Wasserleitungen angesehen werden. Gewöhnlich fliessen diese von selbst und zwar ohne Unterbrechung; wenn sie indessen nur durch einen geringen Zufluss gespeist werden können, so pflegt man sie auch wohl mit einem Ventile zu schliessen, und sobald jemand sie benutzen will, braucht er nur mittelst des Schwengels dieses aufzuheben, worauf sogleich ohne weiteres Pumpen der Ausfluss erfolgt. Der Ausguss dieser Brunnen befindet sich in der Regel in solcher Höhe über dem Strassenpflaster oder den Trottoirs, dass man nur eben einen Eimer darunter stellen kann; eine grössere Höhe würde eine unnütze Vergrösserung der Druckhöhe zur Folge haben und ausserdem wegen des stärkeren Spritzens

des Wassers auch Unbequemlichkeit für den Verkehr auf den Strassen veranlassen. Zuweilen verwandelt man diese Brunnen in Springbrunnen, die zur Zierde öffentlicher Plätze dienen; sie werden alsdann wegen der grossen Druckhöhe, die sie bedürfen und wegen der Bassins und der Architectur und Sculpturen, womit sie gewöhnlich geziert werden, sehr kostbar. Am grossartigsten wird eine solche Anlage, wenn die ganze Wassermenge, welche zur Speisung eines Stadttheiles bestimmt ist, auf einem erhöhten Platze in demselben ausgegossen und mit Ausnahme einiger Strahlen, die dem Publikum sogleich überlassen werden, in einem Bassin gesammelt und von da durch die kleineren Leitungsröhren nach den einzelnen Strassen des Stadttheiles geleitet wird. Girard hat auf solche Art die Fontaine auf dem Boulevard de Bondy gespeist. Es findet sich indessen hierzu nicht leicht die passende Gelegenheit.

Die Zuführung des Wassers nach einzelnen Gebäuden geschieht von den Leitungsröhren aus, welche die fliessenden Brunnen speisen, und die Ergiebigkeit der letzteren wird sonach davon abhängen, ob gerade grössere oder geringere Wassermengen ihnen entzogen werden. In manchen Fällen haben aber die Leitungen keinen andern Zweck als nur die Versorgung der öffentlichen oder Privatgebäude; in allen englischen Städten ist dieses jedesmal der Fall; man pflegt alsdann das Wasser unter starkem Drucke fliessen zu lassen, damit es in jedem Stockwerke von selbst ausströmt.

Aus den Leitungsröhren gehen ferner in gewissen Abständen kurze Ansatzröhren aus, die mit Hähnen geschlossen sind, an welche man bei einem entstehenden Brande die Zuleitungsschläuche der Spritzen befestigen und sonach den nöthigen Wasserbedarf unmittelbar entnehmen kann. Gewöhnlich ist der Druck so stark, dass das Wasser von selbst in den Wasserkasten der Spritze strömt, doch ist dieses keineswegs eine nothwendige Bedingung, und es wird vielmehr schon sehr viel gewonnen, wenn das Zutragen oder Zufahren des Wassers überhaupt vermieden wird.

Das Wasser, welches zu den erwähnten Zwecken nicht consumirt wird, ergiesst sich endlich durch die fliessenden Brunnen in die Rinnen der Strassen, und wenn es auch keineswegs eine vollständige Reinigung der Strassen bewirkt, sondern zu diesem Zwecke jedesmal noch ein sorgfältiges und regelmässiges

Fegen erforderlich ist, so verhindert doch die Strömung in den Rinnen, dass der daselbst abgelagerte Schmutz nicht in Fäulniss übergeht.

In Bezug auf die Anordnung der ganzen Leitung ist ausserdem, was bereits früher bei anderer Gelegenheit erwähnt worden, noch Folgendes zu erinnern. Zunächst muss man auf einem genauen Situationsplane von dem ganzen mit Wasser zu versorgenden Districte die sämmtlichen Brunnen, sowie die sonstigen Ausflüsse eintragen und nach bewirkter Reduction auf einen gemeinschaftlichen Horizont die Höhe beschreiben, in welcher jeder einzelne Ausfluss erfolgen soll. Wenn nun eine Tabelle noch die sämmtlichen Wassermengen nachweist, so hat man alle Data, um die passenden Gruppirungen zu machen und das Project in den Hauptpunkten festzustellen. Besonders wichtig ist dabei eine zweckmässige Vertheilung der grösseren Leitungen; man muss gewisse Vertheilungspunkte aufsuchen, von denen aus man die Umgebungen bequem speisen kann, und diese Punkte müssen entweder von der Hauptleitung oder von den Zweigröhren der ersten Ordnung berührt werden. Die Anordnung wird aber so getroffen, dass alle Leitungen, welche Theilungspunkte speisen, möglichst gerade geführt werden und leicht zugänglich sind, und sie, soviel es geschehen kann, ein gleichmässiges Gefälle verfolgen. Die einzelnen Theile der Zwischenleitung können zwar innerhalb gewisser Grenzen fallen und steigen, doch dürfen sie sich nie über das Niveau des nächst vorhergehenden Theilungspunktes erheben, und diese Punkte selbst müssen, soviel wie möglich, eine ihrer Entfernung entsprechende Abstufung in der Höhe zeigen. Diese Bedingung begründet sich dadurch, dass man die Theilung der Wassermenge in mehrere Zweigröhren weniger durch unmittelbare Spaltung des Röhrenstranges bewirkt, als vielmehr durch Speisen aus offenen Bassins oder Brunnen. Man erreicht hierbei den Vortheil, dass solche Brunnen als Schlammkasten und Luftventile wirken, auch wird der nachtheilige Einfluss der veränderten Richtung durch sie umgangen. Ueberdies geben sie Gelegenheit zu einer genauen Controle über die Ergiebigkeit aller Hauptleitungen, denn sobald eine derselben sich verstopft hat, oder leck geworden ist, so wird sich dieses an dem Wasserstande der beiden nächsten offenen Brunnen sogleich zu erkennen

geben. Die Einführung eines sehr ungleichförmigen Gefälles in den einzelnen Theilen der Hauptleitung und den Zweigröhren erster Ordnung würde aber den Nachtheil haben, dass man in derjenigen Strecke, wo die Niveaudifferenz zwischen den nächsten Brunnen im Verhältniss zur Länge der Leitung sehr gering ist, gezwungen sein würde, mit grossen Kosten und mit manchen andern Unbequemlichkeiten besonders weite Röhren anzubringen.

Diese Bassins oder Brunnen an den Vertheilungspunkten sind entweder geräumige Reservoire, die grosse Wassermengen fassen (*Chateau d'eau*), gemeinhin aber nur gusseiserne Cylinder von 3 oder 2 Fuss Durchmesser, aus denen die Zweigröhren abgehen (*cuve de distribution*). Beide muss man in der Regel über dem Niveau der Strassen, also in kleinen Gebäuden oder auf Unterbauen anlegen, weil man sonst keine fliessenden Brunnen erhalten würde. Einzelne kleine Ableitungen kann man, wo es nöthig ist, auch durch die Hauptröhren unmittelbar speisen, um nicht von dem nächsten Vertheilungspunkte aus eine besondere Leitung dahin führen zu dürfen, doch im Allgemeinen ist es Regel, dass von einem Vertheilungspunkte bis zum nächsten keine Verminderung der Wassermenge erfolgt und daher der Röhrenstrang hier seine Weite unverändert behält. Bei den kleineren Zweigröhren darf man weniger vorsichtig in dieser Beziehung sein, da sie schon aus andern Gründen eine überflüssige Weite zu erhalten pflegen.

Hat man nun auf diese Art die Lage der sämmtlichen Vertheilungspunkte und den Zug derjenigen Röhren bestimmt, wodurch sie gespeist werden, so kann man nach der in §. 17 gegebenen Formel die nöthige Weite der Röhren berechnen. Man kennt nämlich die Länge jeder einzelnen Strecke (l), das daselbst stattfindende absolute Gefälle (h) und die Wassermenge M; man thut aber wohl, wenn man, wie bereits erwähnt, letztere noch etwa um die Hälfte grösser annimmt, als sie wirklich ist, man sichert sich dadurch theils die Möglichkeit bei einem steigenden Bedürfnisse, der Leitung eine etwas grössere Ausdehnung zu geben, theils aber werden alsdann auch die zufälligen Verengungen der Röhre nicht gleich so nachtheilig sich zu erkennen geben, und jedenfalls kann man durch die Hähne oder Schiebeventile, die jeder Theil der Leitung erhalten muss, das durchfliessende Wasser-

quantum beliebig vermindern, während man kein Mittel besitzt, es zu vergrössern, wenn es sich zu klein zeigen sollte. Die letzten Zweigröhren müssen aber auch noch immer eine solche Weite behalten, dass sie bei einem entstehenden Brande den Wasserbedarf zur Versorgung mehrerer Spritzen mit Sicherheit liefern. Endlich ist noch zu bemerken, dass man in dem ersten Theile der Leitung, durch welchen die ganze zu vertheilende Wassermenge geführt wird, doppelte Röhren zu legen pflegt, um bei einer zufällig hier eintretenden Beschädigung nicht die ganze Anlage ausser Thätigkeit setzen zu dürfen.

Auf solche Art ermittelt man die verschiedenen Weiten, welche die Röhrenstücke haben müssen, und um die Anzahl der nöthigen Formstücke nicht gar zu sehr zu vermehren, so verändert man die berechneten Halbmesser noch etwas, so dass sie sich auf eine gewisse geringe Anzahl beschränken. So wandte d'Aubuisson bei der Wasserleitung zu Toulouse nur neun Arten von Röhren an, nämlich in den Weiten von 10,3 — 7,3 — 6,1 — 4,6 — 3,8 — 3,4 — 3,0 — 2,7 und 1,9 Zoll.

Eine ganz besondere Anordnung hat man in Paris mit der Wasserleitung getroffen, welche durch den Ourcq-Canal gespeist wird; dieser Canal mündet nämlich in das geräumige Bassin la Villette zwischen den Thoren la Villette und Pantin am nordöstlichen Rande von Paris. Von hier wird das Wasser durch die in Fig. 107 Taf. X dargestellten Röhren für die Leitung geschöpft; man schliesst es aber nicht sogleich in Röhren ein, sondern leitet es in einem unterirdischen überwölbten Canale, dem Aqueduc de Ceinture, etwa eine halbe Meile weit längs dem nördlichen hohen Abhange fort. Auf solche Art gelangt das Wasser in mannigfaltigen Krümmungen bis nahe an das Thor de Mouceaux. Fig. 110 *a* zeigt das Profil des Aqueduc de Ceinture; derselbe ist so geräumig, dass man mit einem kleinen Nachen darin fahren kann, und ein Gang an der Seite erlaubt auch, zu Fuss die ganze Gallerie zu begehen. An vielen Stellen hat man dem Lichte und der Luft freien Zutritt verschafft, und mehrere Treppen führen herab, damit man mit Leichtigkeit zu den einzelnen Stellen gelangen kann. Auffallend ist es, dass man diesem Canale in seiner Sohle gar kein Gefälle gegeben hat. Sieben Röhrenleitungen schöpfen hier das Wasser und führen es in Gallerien nach dem tiefer

liegenden Theile der Stadt herab; die grösste unter diesen ist die Galérie Saint Laurent, worin vier Röhrenstränge neben einander liegen. Fig. 110 *c* zeigt ihr Profil und Fig. 110 *b* das Profil des kleinen Gebäudes, worin diese Röhren gespeist werden.

Unter den Anlagen, die bei den Wasserleitungen in grösseren Städten vorkommen, sind zunächst die Reservoire oder Bassins zu erwähnen. Sie dienen entweder nur zur Ansammlung des Wassers, oder sie haben nebenbei noch den Zweck, dass sie öffentliche Plätze verzieren sollen und sind in diesem Falle gewöhnlich mit den Springbrunnen verbunden. Vollkommene Wasserdichtigkeit ist bei ihnen jederzeit die Hauptbedingung, und um diese zu erreichen, pflegt man sie in der ganzen vom Wasser benetzten Oberfläche mit Cement zu überziehen. Die Zusammensetzung solcher Cemente kann sehr verschieden sein, jenachdem sie entweder aus Kalkmörtel oder aus Oel- und andern Kitten bestehen. So vortheilhaft die letzten in mancher Beziehung auch sind, so scheinen sie doch im Allgemeinen weniger fest mit den Steinen zu binden, und die grosse Verschiedenheit ihrer Zusammensetzung gegen die des übrigen Mauerwerks führt häufig noch andere Nachtheile herbei, wohin namentlich auch der sehr bedeutende Unterschied in der Ausdehnung bei Temperaturveränderungen gehört. Aus diesem Grunde pflegt man vorzugsweise zum Ueberzuge der innern Oberfläche des Bassins solche Cemente anzuwenden, welche entweder allein aus Mörtel bestehen, oder demselben doch sehr nahe kommen, und es tritt alsdann ungefähr dasselbe Verfahren ein, welches schon in §. 5 bei Gelegenheit der Cisternen beschrieben ist. Man hat auch mehrfach mit vielem Vortheile den sogenannten Béton, das ist eine Verbindung von Mörtel mit kleinen Steinstücken, benutzt. Ueber die Zubereitung desselben wird im Folgenden das Nöthige mitgetheilt werden, hier ist nur zu erwähnen, dass eben durch die kleinen Steinstückchen die Fugen vielfach unterbrochen und dadurch das Entstehen von Wasseradern verhindert wird. Man trägt den Béton mehrere Zolle stark mit der Kelle auf, ebnet ihn etwas, ohne ihn jedoch zu stark zu reiben, und sodann wird mit immer feinerem Mörtel die gehörige Ausgleichung bewirkt. Dabei ist es aber nöthig, dass jede Lage vollkommen getrocknet sein muss, bevor man die folgende aufträgt, und eben dieses gilt auch für die erste oder die Bétonlage

in Bezug auf das rohe Mauerwerk. Es versteht sich aber von selbst, dass man zu diesem Mauerwerke sowohl die Steine als den Mörtel so zu wählen hat, dass beide das Wasser weder durchlassen, noch auch davon erweicht werden.

Demnächst ist über die Anlage der Bassins noch zu erwähnen, dass auch für ihre vollständige Trockenlegung gesorgt werden muss; sie sind demnach an der tiefsten Stelle des Bodens mit einer Ausflussöffnung versehen, die durch ein Ventil geschlossen ist, und um das Eintreten des Wassers in selbiges zu erleichtern, wenn das Bassin schon beinahe entleert ist, so giebt man dem Boden eine starke Neigung und bringt ausserdem wohl nach der Länge noch einen vertieften Canal an. So sind die Reservoire im Green Park zu London, worin das Wasser der Chelsea-Leitung gesammelt wird, nicht nur mit einer ausgemauerten tiefen Rinne versehen, welche sich in der Längenaxe des Bassins hinzieht, sondern ausserdem fällt der Boden von beiden Seiten aus mit der Neigung von $\frac{1}{6}$ nach dieser Rinne zu ab. Die Bassins sind 640 Fuss lang, 102 Fuss breit und in der Mitte neben der Rinne 14 Fuss tief. Der Boden besteht aus einem festen Lehmschlage, worüber ein Pflaster in hydraulischem Mörtel angebracht ist.

Wenn die Reservoire geringere Dimensionen haben, so bestehen sie häufig aus Gusseisen und namentlich ist dieses bei den erwähnten Cylindern in den Vertheilungspunkten der Wasserleitungen der Fall; doch kommen auch grössere Bassins aus demselben Materiale vor. So giebt es z. B. deren zwei in Liverpool, eines 60 Fuss lang, 15 Fuss breit und 10 Fuss tief und eines 33 Fuss lang, 17 Fuss breit und 7 Fuss tief. Die kleineren Reservoire endlich bestehen auch häufig aus hölzernen Kasten, die mit Blei gefüttert sind, und besonders geschieht dieses, wenn das Wasser in Gebäuden angesammelt wird, wobei man den grossen Vortheil hat, dass sie sehr leicht sind und die Gebäude nicht stark belasten.

Bei Versorgung von Privatwohnungen mit Wasser geschieht die Zuleitung gemeinhin in bleiernen, zuweilen auch in engen gusseisernen Röhren. Die ersten haben besonders, wenn sie gezogen sind, den wichtigen Vorzug, dass sie sich leicht biegen und sonach mit wenig Mühe überall anbringen lassen, auch dass ihnen eine etwanige Senkung der Wände und Balken-

lagen nicht schädlich ist. Es kommen hierbei indessen noch manche andere Rücksichten in Betracht, die eine grosse Vorsicht nöthig machen. Ganz frei darf man die Röhren nicht führen, weil sie alsdann zu sehr der Gefahr einer zufälligen Beschädigung ausgesetzt bleiben und weil beim Froste das darin enthaltene Wasser leicht gefrieren kann. Man versenkt sonach die Röhren in die Wände und Fussböden, und um sie möglichst dem Froste zu entziehen, werden sie mehr in die innern, als die Umfassungswände verlegt; auch pflegt man aus demselben Grunde sie mit Moos und andern schlechten Wärmeleitern zu umgeben, wodurch man zugleich das Beschlagen der Röhren zu vermeiden sucht, welches sonst jedesmal eintreten würde, sobald das zugeführte Wasser kälter als die Luft der Zimmer ist. Gerade bei diesen innern Röhren ist aber jeder Leck besonders nachtheilig, indem dadurch die Wände feucht und die Malereien oder Tapeten verdorben werden. Es kommt also auch darauf an, dass man mit Leichtigkeit überall zu ihnen gelangen und sie von Zeit zu Zeit untersuchen kann. In England, wo die Küchen sich gewöhnlich im Souterrain befinden, sind diese Bedingungen leichter zu erfüllen, und die Schwierigkeiten verschwinden zum Theile ganz, indem das Wasser gar nicht in die Wohnräume geleitet wird. In Frankreich dagegen und namentlich in Paris, wo in jedem Stockwerke eine und mehrere Haushaltungen sind und die Constructionen im Allgemeinen keine besondere Solidität haben, geben die erwähnten Schwierigkeiten sich oft sehr unangenehm zu erkennen.

Von den Reservoiren, worin die Haushaltungen das Wasser sammeln, ist bereits die Rede gewesen, und es ist dabei nur noch zu erwähnen, dass man dieselben mit einem Schwimmer zu versehen pflegt, der, sobald er bis zu einer gewissen Höhe gehoben ist, ein Ventil in der Zuflussröhre verschliesst und dadurch das Ueberlaufen des Wassers verhindert. Demnächst sind hierbei auch noch die Vorrichtungen wichtig, wodurch die Gesellschaft, welche die Wasserleitung ausgeführt hat, das in jeder Haushaltung consumirte Wasser controliren lässt. Am sichersten geschieht dieses, wenn zu bestimmten Zeiten, also etwa alle Tage oder alle Wochen einmal im Beisein des Beamten das Reservoir gefüllt und gleich darauf der Hahn wieder angeschlossen wird; dieses ist in England

grossentheils der Fall. Das Verfahren ist indessen umständlich und auch unbequem, indem das Wasser leicht nicht ganz frisch bleibt. Für die Abnehmer ist es besonders wünschenswerth, wenn ihnen die Gelegenheit gegeben wird, ihren Bedarf jederzeit nach Belieben zu entnehmen; man hat auch manche Vorrichtungen zum Messen der verbrauchten Wassermenge angegeben, die zum Theil mit der Taf. I. Fig. 2 dargestellten Vorrichtung übereinstimmen, zum Theil aber auch darin bestehen, dass die Zellen eines Rades durch das ausfliessende Wasser gefüllt werden und das Rad dadurch in Umdrehung gesetzt wird, während durch eine angemessene mechanische Vorrichtung ein oder mehrere Zeiger die Anzahl der erfolgten Umdrehungen angeben. Hierauf beziehen sich die Erfindungen, auf welche Crosley in England patentirt wurde und die mit einigen Modificationen auch auf das brennbare Gas angewendet sind. *) Sicherer als diese Einrichtungen ist aber diejenige, wobei man von dem Wasserstrahle, den die Röhre liefert, einen bestimmten aliquoten Theil, etwa den tausendsten Theil in einem besondern Gefässe auffängt und durch Nachmessung dieser letzten Wassermenge den in der Zwischenzeit stattgehabten Verbrauch bestimmt. Sobald nämlich der Hahn des Zuleitungsrohres geöffnet wird, fliesst das Wasser in ein kreisrundes Gefäss, das am Umfange zehn ganz gleiche Oeffnungen hat; neun derselben giessen das Wasser auf den Boden des Kastens aus, die zehnte aber führt ihren Strahl, der sonach der zehnte Theil des ganzen Wasserquantums ist, in ein zweites Gefäss, das wieder zehn gleiche Strahlen giebt. Einer von den letzten fällt aufs Neue in ein drittes Gefäss mit zehn Oeffnungen, und von diesen Strahlen, deren jeder der tausendste Theil der Wassermenge ist, wird einer in einem prismatischen Gefässe gesammelt. In dem letzteren schwimmt eine Kugel, die an einer Schnur befestigt ist, und diese geht über eine Rolle und trägt an der andern Seite ein Gegengewicht; sobald also in dem letzten Gefässe das Wasser steigt, so dreht sich die Axe der Rolle und bewegt dabei einen Zeiger, der den stattgehabten Zufluss bezeichnet. Das Wasser, welches auf den Boden des Kastens fällt und von da abfliesst, ist sonach nicht das ganze Quantum, welches durch die Leitung geliefert

*) Matthews *Hydraulia. pag.* 304.

wurde; es fehlt noch der im Gefässe angesammelte tausendste Theil derselben, den man nach der Revision ablaufen lässt. Es darf kaum erwähnt werden, dass der ganze Kasten ebenso wie die früher angedeuteten Apparate unter vollständigem Verschlusse gehalten werden müssen, damit der Abnehmer des Wassers nicht dazu kommen und die Controle vereiteln kann. *)

Wesentlich verschieden ist hiervon die von d'Aubuisson bei den Wasserleitungen in Toulouse eingeführte Methode, wonach den Abnehmern das Quantum, welches sie verlangen, in einem ununterbrochenen feinen Strahle zugeführt wird. Das geringste Maass, welches verabfolgt wird, sind 2 Hektoliter oder 6½ Cubikfuss in 24 Stunden, und d'Aubuisson führt an, wie nach den dortigen Erfahrungen solche überaus feine Strahlen ohne Unterbrechung und ohne Aenderung ihrer Stärke drei Monate hindurch flossen. **) Etwas unsicher scheint diese Methode indessen doch immer zu sein, und namentlich da nach derselben Mittheilung das dortige Wasser keine Pflanzenfasern mit sich führt; ausserdem möchte die starke Berührung, worin das Wasser mit der Luft gebracht wird, auch leicht ihm die Frische nehmen, die man zu vielen häuslichen Zwecken nur ungern entbehrt.

Was die öffentlichen Brunnen betrifft, so verdienen dieselben hier besonders insofern noch erwähnt zu werden, als sie häufig den besondern Zweck haben, die Strassen und namentlich die Rinnen zu spühlen. In Paris lässt man sie in dieser Absicht zweimal des Tages, nämlich um 6 Uhr Morgens und um 12 Uhr Mittags, und zwar jedesmal eine Stunde lang fliessen; nur auf den Märkten und in denjenigen Hallen, wo Fleisch und andere ähnliche Artikel feil geboten werden, sind sie immer in Wirksamkeit. Sie sind vorzugsweise auf den Scheitelpunkten der Strassen angebracht, das heisst da, wo die Rinnen nach beiden Seiten abfallen, und in diesem Falle hat der Brunnen (*borne fontaine*) entweder zwei Ausgüsse, oder es ist sonst dafür gesorgt worden, dass das Wasser sich nach beiden Richtungen ziemlich gleichmässig vertheilt. Die Wirksamkeit dieser Anlagen steht in

*) Vergl. das bereits angeführte Werk von Génieys *Essai sur les moyens de conduire etc. p.* 225.

**) *Annales des ponts et chaussées.* 1838. *II. p.* 313.

der genauesten Verbindung mit der der verdeckten Abzugscanäle (*égout*), die in grosser Menge sowohl in Paris, als in den grösseren Städten Gross-Britanniens seit langer Zeit bestehen und von denen im Folgenden ausführlich die Rede sein soll. Die letzten nehmen das schmutzige Wasser auf, während die ersten das reine Wasser auf die Strassen leiten. Es kommt also darauf an, dieses letztere so lange in den Rinnen zu führen, bis es zur ferneren Reinigung nicht mehr dienlich ist und es alsdann durch die Roste oder sonstigen Abflussöffnungen in die unterirdischen Canäle zu stürzen. Man hat diese Aufgabe wahrscheinlich noch nirgend genügend gelöst, und die Unsauberkeit der Strassen in Paris zeigt, dass man auch dort noch weit davon entfernt ist. Nichts desto weniger ist es nicht zu verkennen, dass die Abänderung der bestehenden Einrichtungen und namentlich die des Strassengefälles ausserordentliche Schwierigkeiten verursacht; durch solche Brunnen und Abzugscanäle allein lässt sich aber die ganze Strasse auch nie reinigen, indem dadurch höchstens nur die Rinnen gespühlt werden und auch dieses gewöhnlich nur sehr unvollständig geschieht. Eine Hauptbedingung, wenn die Strassen rein gehalten werden sollen, bleibt immer die, dass zur Zeit, wenn die Brunnen fliessen, auch gefegt wird, und gleichzeitig muss der gröbere Kehrig abgeführt werden, da man nur die feineren Stoffe ohne Nachtheil in die Abzugscanäle zugleich mit dem Wasser hineinspühlen darf. Was in dieser Beziehung in Paris (und wahrscheinlich nicht minder in den meisten grossen Städten) noch fehlt, hat Génieys in dem mehrmals angeführten Werke und ebenso auch Emmery in einem sehr interessanten Aufsatze über fliessende Brunnen und Abzugscanäle entwickelt *); eine andere Mittheilung von Mougey über denselben Gegenstand **) zeigt aber unter Angabe vieler sehr wichtigen Thatsachen, dass auch in den englischen und schottischen Städten gleichfalls Vieles noch zu wünschen bleibt. Aus beiden Aufsätzen habe ich einen grossen Theil der folgenden Notizen entnommen.

*) *Egouts et bornes fontaines par Emmery. Annales des ponts et chaussées* 1834. *I. pag.* 241.

**) *Notice sur les égouts de Londres, de Liverpool et d'Edinbourg par Mougey. Annales des ponts et chaussées* 1838. *II. p.* 129.

Die Wassermenge, welche ein fliessender Brunnen geben muss, um die Spühlung der Rinne zu bewirken, ist gewiss von so vielen Umständen abhängig, dass man ein allgemein gültiges Maass dafür unmöglich bestimmen kann; d'Aubuisson hat in Toulouse dasselbe bis auf einen Wasserzoll ($\frac{2}{7}$ Cubikfuss in der Minute) ermässigt, doch sind diese Brunnen in ununterbrochener Wirksamkeit, und sie liegen mitunter sehr nahe nebeneinander, so dass sie sich gegenseitig verstärken, und besonders ist dieses in denjenigen Strassen der Fall, wo der lebhafteste Verkehr stattfindet. Die Wassermenge, welche die Brunnen in Paris geben, scheint sehr viel grösser zu sein, was auch nöthig ist, indem sie nicht fortwährend fliessen und daher ein fester Niederschlag sich in den Rinnen sammeln kann. Emmery nimmt die Wassermenge eines fliessenden Brunnens in Paris zu 8 Wasserzoll oder $3\frac{1}{2}$ Cubikfuss in der Minute an.

Was die sonstige Einrichtung der Brunnen betrifft, so kommt es darauf an, dass sie die Strassen nicht beengen und die Trottoirs weder unter Wasser setzen und im Winter mit Eis bedecken, noch auch dürfen sie so stark spritzen, dass die Fussgänger benetzt werden. Die älteren fliessenden Brunnen in Paris sind von den erwähnten Uebelständen keineswegs frei, und es kommt namentlich in der Strasse St. Denis vor, dass man, um das Ueberziehen der Trottoirs mit Eis zu vermeiden, im Winter, zur Zeit wann die Brunnen fliessen, hölzerne Rinnen legen muss, die das Wasser bis zu der gepflasterten Rinne auf dem Damme führen, wodurch aber während dieser Zeit die Benutzung der Trottoirs unterbrochen wird. Man hat zur Beseitigung dieser grossen Unbequemlichkeit den Versuch gemacht, die Brunnen am Rande der Trottoirs anzubringen, so dass sie das Wasser unmittelbar in die gepflasterten Rinnen giessen, allein in diesem Falle verengen sie wieder den Fahrdamm und werden selbst von den vorüberfahrenden Wagen beschädigt. Génieys schlägt dagegen vor, das Wasser gar nicht über das Niveau des Trottoirs steigen zu lassen, sondern unter den Trottoirplatten, die an dieser Stelle aus Gusseisen bestehen, es in einen überdeckten Canal zu leiten, der am Rande des Fahrdammes ausmündet. Diese Einrichtung beseitigt zwar vollständig die benannten Uebelstände, aber sie vereitelt auch zugleich einen wesentlichen Zweck dieser Brunnen, nämlich das

Auffangen des Wassers in Gefässen. Am zweckmässigsten scheint demnach die in Fig. 113 dargestellte Anordnung der Brunnen, die in den letzten Jahren auch vorzugsweise in Paris gewählt wird. Der Brunnen, den *a* in der Ansicht von vorn, *b* im Durchschnitte und *c* im Grundrisse zeigt, besteht in einem gusseisernen Kasten; er ist möglichst nahe an die Häuser gestellt, und zwei Abweisesteine, die in der Figur nicht angegeben sind, schützen ihn von beiden Seiten. Die Ausgussröhre, die senkrecht abwärts gerichtet ist, befindet sich nur 13 Zolle über dem Trottoir und giebt sonach nur eben Gelegenheit, einen Eimer darunter zu stellen. Sobald das Wasser aber nicht aufgefangen wird, so stürzt es sogleich durch einen Rost, dessen Stäbe, um das Spritzen zu vermeiden, oben zugeschärft sind und fliesst durch eine gusseiserne Rinne unter dem Trottoir nach dem Fahrdamme. Der Hahn, welcher den Ausfluss öffnet und schliesst, hat die Einrichtung, dass das Wasser in seiner Axe hineintritt, wie Fig. 113 *d* und *e* zeigen; er kann durch eine Oeffnung in dem obern Boden des Brunnenkastens gedreht werden, wenn man aber diesen Boden oder Deckel abhebt und die beiden durch Splinte gehaltenen Klammern herausnimmt, so kann man den abwärts gekehrten Theil des Ausgussrohres abschrauben und einen Schlauch, der ein passendes Schraubengewinde hat, darauf befestigen; auf solche Art lassen sich durch diese Brunnen die Wasserkasten der Feuerspritzen unmittelbar füllen.

Ausser den erwähnten Brunnen haben die Leitungsröhren auch an den Stellen, wo sie unter dem Strassenpflaster liegen, in gewissen Entfernungen noch kurze aufwärts gerichtete und mit Hähnen und Schraubengewinden versehene Ansatzröhren, woran die Schläuche gleichfalls befestigt werden können. Gewöhnlich wird über diesen Hähnen das Strassenpflaster unterbrochen, indem ein Rahmen von Holz oder Stein darüber liegt und die Oeffnung in demselben mit einer gusseisernen Platte geschlossen wird. Diese Platte muss in der Oberfläche uneben sein, damit sie nicht glatt wird, und sie ist in der Mitte mit einer kleinen, eigenthümlich geformten Oeffnung versehen, wo ein entsprechender Schlüssel hineinpasst, mit dessen Hülfe man sie heben kann. Die Platten unterbrechen indessen immer das regelmässige Pflaster und wenn sie lange gelegen haben, so erhalten sie abgerundete

und sehr glatte Oberflächen, wodurch sie höchst unbequem werden; ausserdem brechen sie leicht und sie geben im Winter zu einer starken Abkühlung der Röhre Gelegenheit. Man hat sie daher, in Rücksicht auf ihren sehr seltenen Gebrauch, in England ganz entfernt; die Röhre wird auch an der Stelle, wo der Hahn liegt, mit Erde beschüttet und das Pflaster darüber geführt. Gewisse Marken an den nächsten Gebäuden weisen aber ganz genau die Stelle des Hahnes nach, und sobald es einmal bei einem Brande in der Nähe nöthig wird, denselben zu benutzen, so ist in wenigen Minuten das Pflaster aufgebrochen und die darunterliegende Oeffnung aufgegraben.

Die öffentlichen Brunnen kommen, wie bereits erwähnt, bei den Wasserleitungen in England nicht vor, dagegen benutzt man die letzteren doch zuweilen zum Reinigen der Strassen; da aber der hierzu verwendete Bedarf an Wasser ebensowohl wie der, welcher bei einem Brande entnommen wird, der Gesellschaft besonders vergütet werden muss, so entfernt man sorgfältig jede Gelegenheit zu einer möglichen Entwendung des Wassers. Besonders sind es die nach Mac Adam's Methode chaussirten Strassen, die sowohl in trockener Jahreszeit, wie auch bei nassem Wetter eine grosse Masse Wasser zu ihrer Reinhaltung bedürfen. In der Trockenheit verbreiten sie den unerträglichen Staub, den man durch häufiges Spritzen etwas zu mässigen sucht; an besondere Zweigröhren in den Wasserleitungen werden Schläuche angeschraubt, die unmittelbar vermöge des Druckes in den Leitungen das Wasser ausspritzen, und wenn der dazu erforderliche Druck nicht vorhanden ist, so muss durch besondere Wagen, aus welchen das Wasser in vielen feinen Strahlen möglichst nahe über der Strasse ausfliesst, die Sprengung vorgenommen werden. Bei nassem Wetter dagegen bildet sich in einer Viertelstunde auf diesen so stark befahrnen Strassen eine dicke Schlammmasse, die man in kurzen Zwischenräumen immer abziehen muss, um nicht die Passage ganz zu sperren, und wie sorgfältig man auch für die Fortschaffung des Schlammes sorgen mag, so kann es doch nicht fehlen, dass er in die Rinnen tritt; die Offenerhaltung der letztern erfordert alsdann wieder eine starke Strömung reinen Wassers. Nach den Mittheilungen Mougey's muss man in London jährlich zweimal auf diese Strassen frische Versteinung aufbringen

und zwar betragen dafür allein die Kosten jährlich ungefähr 20 Thaler auf die Quadratruthe; diese ungeheuren Steinmassen, die auf solche Art jährlich verschwinden, verwandeln sich in Schlamm und Staub, und deren Beseitigung durch Abziehen, Abfahren und Nachspühlen kostet für die Quadratruthe wieder ungefähr 5 Thaler jährlich; in einzelnen Mac-Adamisirten Strassen kostet das Wasser allein, das man in einem Jahre zum Sprengen und Spühlen braucht, schon 2 Thaler auf die Quadratruthe.

Bei Gelegenheit der Wasserleitungen in grösseren Städten sind endlich noch die verdeckten Abzugscanäle unter den Strassen zu erwähnen, welche theils das Regenwasser, theils aber auch das unreine Wasser, welches sonst die offenen Rinnen in den Strassen füllen würde, aufnehmen und beides nach dem Flussbette abführen. Ihr nächster Zweck ist sonach, eine zu starke Ansammlung des Wassers in den Strassen zu verhindern, doch tragen sie gemeinhin auch noch auf eine andere Art sehr wesentlich zur Reinhaltung der Strassen und überhaupt der nächsten Umgebungen bei, indem nicht nur unreines Wasser, sondern auch eine Menge Schmutz in sie hineingeworfen wird, den sie unbemerkt dem Flusse zuführen. Sie gewähren auf solche Art den Einwohnern eine sehr grosse Bequemlichkeit, und namentlich wenn die Kothgruben der Abtritte mit ihnen in Verbindung gesetzt werden dürfen, wie dieses in neuerer Zeit in London der Fall ist und wie es grossentheils auch in Paris geschieht. Die daraus hervorgehende Verunreinigung des Flusses ist freilich ein grosser Uebelstand, nichts desto weniger ist dieses keine Folge der in Rede stehenden Abzugscanäle, da man in den meisten Städten, auch wo solche nicht existiren, dieselbe Verunreinigung des Flusses durch unmittelbares Hineinwerfen noch duldet.

Die Cloaken in Rom, welche zum Theil in so grossen Dimensionen ausgeführt waren, wie man sie sonst nicht wiederfindet, sind nichts anderes als solche Abzugscanäle; sie kommen in den meisten grösseren Städten in Frankreich und Grossbritannien vor, doch wo sie aus älterer Zeit herrühren, sind sie gewöhnlich nur nach dem nächsten Bedürfnisse und ohne gehörige Rücksicht auf eine angemessene Vertheilung des Gefälles angelegt, woher sie denn in vielen Fällen denjenigen Effect nicht zeigen, den sie bei einer passenderen Anordnung haben könnten. In Deutschland

sind sie ziemlich selten, und wenn sich hin und wieder auch einzelne Anlagen dieser Art in grossen Städten vorfinden, so ist ihre Anwendung verhältnissmässig doch immer sehr beschränkt.

Bei der Anlage dieser Canäle ist vorzugsweise darauf zu sehen, dass sie durch die Stoffe, welche sie abführen sollen, nicht etwa verstopft werden. In dieser Beziehung ist es zunächst nöthig, ihnen ein hinreichendes Gefälle zu geben; man ist in England in neuerer Zeit auf diesen Umstand sehr aufmerksam, so muss bei den neuen Anlagen dieser Art in dem Districte von London zunächst Westminster das Gefälle wenigstens $\frac{1}{96}$ betragen, in dem Districte Holborn und Finsbury wenigstens $\frac{1}{144}$, und die Commissarien, welche diese Bauten controliren, empfehlen besonders das Gefälle von $\frac{1}{48}$. Die ausgedehnten Abzugscanäle in Edinburgh haben zum Theil viel stärkere Gefälle, sogar bis auf $\frac{1}{7}$, und man betrachtet dort als sehr vortheilhaft diejenigen, die zwischen $\frac{1}{60}$ und $\frac{1}{100}$ liegen. Es lassen sich indessen da, wo die Stadt in einem fast horizontalen Flussthale erbaut ist, diese Verhältnisse nicht mehr darstellen und man muss alsdann auf andere Art die Reinigung zu bewirken suchen; in London geschieht dieses sehr bequem durch den verschiedenen Wasserstand in der Themse bei Fluth und Ebbe. Man lässt nämlich das Hochwasser in die Abzugscanäle hineintreten und hält dasselbe darin, indem man die Schützen an den Mündungen schliesst, so lange, bis die niedrigste Ebbe eingetreten ist. Werden sie alsdann geöffnet, so stürzt das Wasser mit grosser Heftigkeit heraus und der starke Strom führt den Niederschlag mit Leichtigkeit fort. Auf solche Art wird das sehr beschwerliche Reinigen der Canäle durch Handarbeit fast ganz umgangen, und nur wenn durch die Zuflussöffnungen sich ein starker Geruch verbreitet, so dringen die Nachbarn auf Reinigung, die dann vorgenommen werden muss.

Die Abzugscanäle erhalten in England fast immer solche Dimensionen, dass sie bequem begangen werden können. Fig. 114 zeigt zwei Profile derselben, nämlich *a* ist das für den Westminster-District vorgeschriebene Profil, sobald der Canal mehr als eine Strasse reinigen soll und *b* dasjenige für den District Holborn und Finsbury. In Paris muss die Reinigung dieser Canäle namentlich in der Nähe der Seine viel häufiger durch Handarbeit vorgenommen werden; die grösseren haben daselbst

das Fig. 115 dargestellte Profil, doch giebt es auch viele kleinere, die nur 1 Meter oder 3 Fuss 2 Zoll hoch sind, und hier wird das Reinigen nicht nur dadurch so sehr beschwerlich, dass die Arbeiter tief gebückt stehen und gehen müssen, sondern ebenso nachtheilig ist der Mangel an frischer Luft, der durch die geringe Höhe noch in so hohem Grade fühlbarer wird. Die Pariser Abzugscanäle sind übrigens gemeinhin auf einer Bétonfundirung in rohen Bruchsteinen ausgeführt, während man sie in London aus hart gebrannten Steinen erbaut. Wo jedoch das Wasser in grosser Masse hineingeleitet wird, sind es immer besonders feste Werkstücke, die den Stoss des Wassers unmittelbar empfangen.

Sehr wichtig ist die Art der Zuleitung des Wassers in diese Canäle, und zwar ebensowohl von den Strassen aus, als aus dem Innern der Häuser. Gewöhnlich entleeren sich die gepflasterten Rinnen durch gusseiserne Roste in sie; ein solcher Rost, wie er in England üblich ist, ist Fig. 116 *a* in der Ansicht von oben und *b* im Durchschnitte dargestellt. Er bildet oben eine concave Fläche, welche der Sohle der Rinne entspricht, und er ruht auf einem Rahmen von Werkstücken. Zuweilen lässt man auch das Wasser nicht unmittelbar in die Abzugscanäle, sondern wie Fig. 117 *a* und *b* im Grundrisse und im Durchschnitte zeigt, in Schlammkasten treten, wo sich die schweren Stoffe niederschlagen und nur das reinere Wasser abfliesst. Diese Anordnung kommt jedoch nicht häufig vor, und sie hat auch den Nachtheil, dass die Reinigung der Schlammkasten für die Nachbarschaft höchst unangenehm ist und gerade denjenigen Uebelstand in hohem Grade herbeiführt, den man eben durch diese Abzugscanäle vorzugsweise vermeiden will. Fig. 118 zeigt die in Paris gewöhnliche Zuleitung des Wassers, wobei gleichfalls der Rost angewendet ist. Derselbe ruht zunächst auf einem hölzernen Rahmen und dieser liegt auf einem grossen quadratisch bearbeiteten Werkstücke, welches mit einer dem Roste entsprechenden Oeffnung versehen ist. Das Strassenpflaster ist ringsum dicht herangeführt und es giebt der Rostplatte allein die nöthige Haltung. Es ereignet sich indessen häufig, dass die Oeffnungen im Roste durch Stroh und andere vom Wasser herbeigeführte Körper sich verstopfen und alsdann der Abfluss gesperrt wird; in dieser Beziehung giebt man den breiten Einmündungen unter den Trottoirs den Vorzug, wie eine

solche Fig. 119 *a* und *b* in der Ansicht und im Durchschnitte gezeichnet ist. Es ist dabei nur zu erwähnen, dass statt der Steine hier eine gusseiserne Platte das Trottoir bildet.

Die Abzugscanäle liegen gemeinhin in der Mitte der Strasse, doch sind sie zuweilen auch unter den Trottoirplatten angebracht und dieses gewöhnlich in dem Falle, wenn sie nicht tief sind. In den englischen Städten kommt das Letzte nicht leicht vor, denn das Trottoir wird als Theil des Hauses betrachtet, und der Raum darunter ist ein Kellerraum, der zur Aufbewahrung der Kohlen benutzt wird; überdies liegen die Canäle hier so tief, dass ihre Sohle sich mindestens 4 Fuss unter dem gepflasterten Boden der Souterrains befindet. Man entfernt dadurch jede Gefahr eines Durchsickerns in die Souterrains und man braucht keine besondere Vorsicht auf die Wasserdichtigkeit der Canäle zu verwenden; es kommt sogar vor, dass man ihren Boden und ihre Widerlagsmauern mit offenen Fugen ausführt, es scheint indessen zweifelhaft, ob dieses angemessen ist, denn wenn sich das Wasser in den Erdboden hineinzieht, so werden die Unreinigkeiten um so weniger fortgespühlt werden können, und sonach wird dadurch eine Veranlassung zu Verstopfungen gegeben. Bei nassem Boden kann freilich gerade durch dieses Verfahren die Wassermenge, welche der Canal abführt, vermehrt werden, und man erreicht ausser der besseren Reinigung desselben auch noch den Vortheil, dass die Souterrains alsdann trocken bleiben. Die Beschaffenheit des Bodens wird daher bei der Wahl der Constructionsart zu berücksichtigen sein.

Durch die erwähnte tiefe Lage sind diese Abzugscanäle nicht so leicht zu eröffnen, wie es der Fall sein würde, wenn sie nur durch die Trottoirplatten bedeckt wären, und man muss daher für die nöthige Anzahl von Einsteigeöffnungen sorgen; in London finden sich solche wirklich in Entfernungen von durchschnittlich 15 Ruthen, und sie werden gebildet durch gemauerte Schachte, die an der Seite des Canales herabgeführt und mit diesem durch Gallerien verbunden sind. Gusseiserne oder Steinplatten, die meist im Trottoir liegen, verschliessen die obere Mündung dieser Oeffnungen. Wenn die Abzugscanäle sich nicht unter den Strassenrinnen hinziehen, so kann man das Wasser auch nicht unmittelbar hineinleiten, wie dieses Fig. 118 dargestellt ist; bei grösserer

Breite derselben vermeidet man es auch gern, in der gewölbten Decke eine Oeffnung anzubringen. Die gemauerte Abfallröhre wird vielmehr schräg herabgeführt und mündet von der Seite und zwar in der Höhe von 1 oder 2 Fuss über der Sohle in den Canal. In Paris hat man in diesem Falle auch gusseiserne Abfallröhren von 10 Zoll Weite benutzt. Gewöhnlich erreichen die Abfallröhren von beiden Seiten auf dem kürzesten Wege den Canal, doch zuweilen ist dieses wegen besonderer Umstände nicht möglich, und alsdann kann man sie auch in der Art verbinden, wie dieses Fig. 120 dargestellt ist.

Was die Ableitung des Spühlichts aus den Gebäuden in die Abzugscanäle betrifft, so findet bei einer tiefen Lage der letztern in dieser Beziehung keine Schwierigkeit statt. Es wird in den englischen Städten nur darauf gehalten, dass diese Seitencanäle auch ein gehöriges Gefälle haben und mindestens 1½ Fuss über der Sohle des Hauptcanals ausmünden müssen. Dadurch wird bei einer etwanigen Ansammlung von Schmutz ein Zurücktreten desselben in die sehr engen und daher schwer zu reinigenden Seitencanäle vermieden. Wenn letztere mit Abtritten in Verbindung stehen, so gilt dieselbe Regel.

Diese Seitencanäle verbreiten indessen zuweilen von den Abzugscanälen aus einen starken Geruch im Hause, und ausserdem haben sie den Nachtheil, dass die Ratten, die sich in jenen in grosser Anzahl aufhalten, auch in die Häuser kommen. Um beides zu vermeiden, versieht man zuweilen die kleinen Zuleitungscanäle an ihren untern Mündungen mit gusseisernen Klappen, die am obern Ende durch eine horizontale Axe gehalten werden; sie öffnen sich also nur, wenn das vom Hause aus eingegossene Wasser sie aufstösst und schliessen sich darauf von selbst wieder. Dieses Mittel ist indessen sehr unsicher und giebt leicht zu einer vollständigen Verstopfung der Zuleitungsröhre Veranlassung. Weit vortheilhafter erscheint dagegen die in Fig. 120 dargestellte Anordnung, welche man in England gleichfalls häufig benutzt. Die Zuleitungsröhre *A* geht nämlich nicht ohne Unterbrechung in gerader Richtung fort, sondern sie ist an einer Stelle gesenkt, worin also das Wasser zurückgehalten wird, und eine Zunge, die aus einer Steinplatte besteht, senkt sich von der Decke bis unter das Niveau des hier gesammelten Wassers. Dadurch wird die

Röhre luftdicht geschlossen und auch die Ratten sollen nicht leicht hindurchgehen. Ein Uebelstand hierbei möchte nur der sein, dass diese Vertiefungen die Wirkung der Schlammkasten äussern, und wenn man daher zuweilen nicht sehr starke Strömungen hindurchtreibt, so muss eine periodisch wiederkehrende Reinigung derselben wohl vorgenommen werden. Zur Erklärung der letzten Figur mag hier noch angeführt werden, dass *B* das Trottoir und *C* der darunter befindliche Kohlenkeller ist. *D* ist dagegen ein oben offener Graben, der das Haus von der Strasse trennt; er giebt Gelegenheit, die Küche *E* und die sonstigen Räume des Souterrains zu erleuchten und gewährt manche andere Vortheile, wohin namentlich der gehört, dass die Kohlen gar nicht durch das Haus getragen, sondern hier unmittelbar herabgeworfen werden können. Bei den neuen Strassen in London ist dieses die gewöhnliche Einrichtung.

Vierter Abschnitt.

Entwässerungen u. Bewässerungen.

§. 25.

Vorarbeiten.

Die Entwässerungsanlagen haben den Zweck, Gegenden, die bisher mit Wasser bedeckt, oder doch stark versumpft waren, so weit trocken zu legen, dass sie als Ackerland oder wenigstens als Wiesen benutzt werden können. Sie dienen daher, die Culturfähigkeit des Bodens darzustellen oder dessen Ertrag zu vermehren, zugleich aber auch die ungesunde Luft, die sich über Morästen im Sommer bildet, zu entfernen und dadurch diese Gegenden bewohnbarer zu machen. Sie stehen sonach in unmittelbarer Beziehung mit den wichtigsten Interessen der menschlichen Gesellschaft.

Der Erfolg der Anlagen dieser Art ist häufig sehr günstig ausgefallen, wie dieses vielfache Beispiele in Deutschland, Frankreich, den Niederlanden und namentlich in Italien zeigen; nichts desto weniger stellen sich ihrer Ausführung und selbst ihrer Wirksamkeit häufig Schwierigkeiten entgegen, die man bei andern hydrotechnischen Anlagen nicht antrifft, und gerade hier wiederholen sich besonders häufig die Klagen über unzureichende Erfolge und unerfüllte Erwartungen; der Grund davon ist aber gewöhnlich allein in der vielfachen Berührung des Privatinteresses zu suchen. Wenn eine grosse Anzahl von Grundbesitzern die Anlage- und Unterhaltungskosten nach Maassgabe des zu hoffenden, oder des wirklich erzielten Vortheiles unter sich vertheilen sollen, so fürchtet ein jeder seine Zufriedenheit auszusprechen, und die ganze Anlage erscheint, wenn man hiernach urtheilen will, durchaus missglückt, bis endlich nach Jahren die allgemeine Zunahme des Wohlstandes das Gegentheil beweist.

Zuweilen kann es aber auch geschehen, dass die blosse Entwässerung wirklich keinen Nutzen gewährt und wohl gar noch

nachtheilig ist. Der lockere, aus Sumpfpflanzen aufgewachsene Boden braucht eine starke Feuchtigkeit, wenn er irgend etwas hervorbringen soll, und es ereignet sich wohl, dass dieselben Wiesen, welche in manchen Jahren keinen Ertrag geben, weil sie zu lange mit Wasser bedeckt bleiben, in einem anderen sehr trockenen Jahre wieder wegen Mangels an Wasser kein Heu liefern. Wenn man in solchem Falle allein die Klagen berücksichtigen will, welche in nassen Jahren erhoben werden, so wird leicht durch die Beförderung des Abflusses und durch die Senkung des Grundwassers oder des Wasserspiegels in den Abzugsgräben die Gegend noch unfruchtbarer werden, als sie es früher schon war. Auch darf man bei Anlagen dieser Art den Einfluss auf die Umgebungen nicht ausser Acht lassen; so können z. B. bei Ablassung eines Sees leicht die umliegenden Wiesen ihren Ertrag verlieren. Am sichersten begegnet man solchen Uebelständen, wenn in der ganzen Anlage nicht nur die Entwässerung berücksichtigt, sondern auch eine Bewässerung eingeführt, oder wenigstens möglich gemacht wird, die zur Erzielung des ganzen Vortheiles beinahe immer nothwendig ist und welche man daher in neuerer Zeit auch jedesmal damit sogleich zu verbinden pflegt.

Demnächst tritt den Anlagen dieser Art, besonders wenn sie sich auf grössere Flächen beziehen, auch häufig noch die Besorgniss entgegen, dass die unteren Gegenden dabei leiden möchten. So lange nämlich für die Trockenlegung des Sumpfes nicht gesorgt ist, so giessen die Flüsse, die denselben bilden, bei einer Anschwellung alles Wasser in ihn hinein, und da die Wassermenge hier Raum findet, sich weit auszudehnen und überdies für den Abfluss gar nicht gesorgt ist, so erfolgt dieser sehr langsam, und sonach fliesst den unteren Gegenden das Wasser sehr langsam zu, wodurch die hohen Anschwellungen zwar auf eine längere Dauer ausgedehnt, aber dafür weniger hoch und gefahrdrohend zu sein scheinen, als wenn die nöthigen Abzugsgräben eröffnet sind, durch welche ein recht schneller Abfluss dargestellt wird. Man hört diese Ansicht oft genug aussprechen, allein es ist nicht leicht eine Erfahrung nachzuweisen, wodurch sie bestätigt würde. Als dem Chiana-Flusse im Anfange dieses Jahrhunderts ein regelmässiger Lauf gegeben und die Entwässerung seines berüchtigten

Thales (wovon später ausführlich die Rede sein soll) vorgenommen wurde, da sprach sich auch in Florenz diese Besorgniss aus; es zeigte sich auch wirklich, dass dieses Thal sonst 10 bis 15 Tage lang die höheren Fluthen zurückhielt, während es dieselben später schon in 2 bis 3 Tagen ablaufen liess, aber nichts desto weniger haben nach Manetti's und Fossombroni's Mittheilungen seit eben dieser Zeit im Arno nie solche hohe Anschwellungen statt gefunden, wie sie früher eingetreten sind. Der Einfluss der Entwässerung ist also in dieser Beziehung gewiss auf keine merkliche Art nachtheilig gewesen. Dasselbe hat sich auch in vielen ähnlichen Fällen gezeigt, und die Erklärung dieser Erscheinung liegt eines Theils darin, dass nach den bekannten Gesetzen über die Bewegung des Wassers in Flussbetten die doppelte Wassermenge keineswegs eine doppelt so hohe Anschwellung erzeugt, andern Theils kann man aber auch annehmen, dass eben der Mangel eines regelmässigen Abflusses, wenn er auch Anfangs die Anschwellung im Sumpfe vermehrt, doch leicht während der Dauer derselben durch die eintretende Strömung des Wassers zur Bildung eines tiefen Bettes Veranlassung giebt, in ähnlicher Art, wie künstliche Deiche durchbrochen werden, und dass alsdann leicht in kürzerer Zeit die ganze Wassermenge herabstürzt, als es geschehen wäre, wenn gleich Anfangs für einen regelmässigen Abfluss gesorgt wäre.

Der hohe Wasserstand, den man durch die Entwässerung einer Niederung in derselben entfernen will, kann entweder durch die ursprüngliche Gestaltung der Erdoberfläche veranlasst sein, wie dieses bei den meisten von der Natur gebildeten Seen der Fall ist, oft ist er aber auch eine Folge von künstlichen Anlagen und namentlich von Mühlen, und endlich wird er nicht selten durch die natürliche Erhöhung der Fluss- und Bachbetten verursacht. Der letzte Fall verdient eine besondere Erwähnung. Alle Flüsse und Bäche führen nämlich eine Menge Sand und anderes Material mit sich, das sie an den Stellen, wo die Strömung gerade gering ist, fallen lassen. Dieses geschieht vorzugsweise zur Zeit des Hochwassers, und wenn später das Wasser fällt und die Kraft des Stromes gemässigt ist, so wird er durch solche Ablagerungen, die zufällig in sein eigenes Bette trafen, zurückgehalten, und er muss davor aufstauen, damit das Wasser die

nöthige Druckhöhe erhält, um entweder darüber fortzufliessen, oder sich ein anderes Bette zu bilden. Am stärksten pflegen diese Ablagerungen da zu sein, wo gerade viele Krümmungen vorkommen; das Hochwasser verlässt hier das eigentliche Bette und folgt in gerader Richtung dem Flussthale; wenn es hier eine Vertiefung berührt, so lässt es vorzugsweise in derselben die Stoffe fallen, die es mit sich führte. So erhöht sich stellenweise das Bette und der Wiesengrund wächst besonders da stark empor, wo das Hochwasser am stärksten strömt. Diese Veränderung der Oberfläche des Flussthales hat aber wieder Einfluss auf die Strömung des Hochwassers; dasselbe findet bald in einer andern Richtung eine grössere Tiefe vor, und indem es dieser folgt, so geht die Erhöhung des Bodens hier wieder ebenso vor sich, wie früher an der ersten Stelle. Auf solche Art wächst ein Theil des Thales nach dem andern empor, und indem das Wasser immer die tiefsten Niederungen verfolgt und diese dadurch erhöht, so bildet sich eine überraschende Gleichmässigkeit in der Ablagerung, und eine dauernde Versumpfung würde in einem einzelnen geschlossenen Thale nicht vorkommen können, wenn diese nicht zuweilen durch künstliche Anlagen herbeigeführt würde. Nur bei einem Boden, der geringen Werth hat, bleibt der Besitzer desselben ein ruhiger Zuschauer der natürlichen Veränderungen des Flusslaufes; sobald der Ackerbau, oder auch nur eine geregelte Grasnutzung eingeführt ist, so werden die Versandungen, die dem Strome des Hochwassers folgen und welche grossentheils die Erhöhung des Flussthales bilden, sehr nachtheilig; man verhindert sie also, indem man durch Deiche die Aecker und Wiesen abschliesst, und man bemüht sich überdies durch Ausdeckung der Ufer den Fluss in dem Bette zu erhalten, worin er sich gerade befindet. Auf solche Art wird die natürliche und regelmässige Umformung der Oberfläche unterbrochen, die Erhöhung des Flussbettes und der nächsten Ufer wird nicht gehemmt, sondern nur auf einen kleinen Theil des Thales beschränkt, und es bleiben alsdann die vor der Ueberströmung geschützten Aecker und Wiesen in ihrer dermaligen Höhe, während das Flussbette mit seinen nächsten Umgebungen immer höher anwächst, so dass es bald das Wasser nicht mehr aufnehmen kann, welches sich in jenen ansammelt. Auf solche Art haben die Niederungen an der Mündung

grosser Ströme ihre natürliche Entwässerung verloren, und auch bei kleineren Flüssen und Bächen bilden sich zuweilen aus diesem Grunde Versumpfungen. Durch eine regelmässige und zusammenhängende Correction des Flusslaufes gelingt es gewöhnlich, den Wasserspiegel wieder zu senken und ihn demnächst unverändert zu erhalten; hierin besteht also ein Mittel, wodurch man oft die beabsichtigte Entwässerung herbeiführen kann.

Häufiger giebt das Zusammentreffen zweier Wasserläufe die Veranlassung zur Entstehung der Sümpfe. Wenn ein Bach in einen Fluss mündet und letzterer sein Bette nach und nach erhöht hat, so muss auch der erste in demselben Maasse anschwellen, wie der Wasserstand des Flusses am Vereinigungspunkte zunimmt, der Fluss wird aber in das inundirte Thal des Baches keinen Sand, noch auch sonstiges schweres Material hineinführen, weil er durch dasselbe nicht hindurchströmt und er bei jeder Anschwellung nur in dem Falle einen Theil seiner Wassermasse hineingiesst, wenn der Bach es nicht schnell genug zu füllen im Stande ist. Ein Emporwachsen der Thalsohle bleibt also nur alsdann möglich, wenn der Bach das Material dazu eben so reichlich liefert, wie der Fluss solches in seinem Thale absetzt; geschieht dieses aber nicht, so verliert das Thal des Baches seine natürliche Entwässerung und verwandelt sich in einen Sumpf, oder wohl gar in einen See. Ganz dasselbe wird auch der Fall sein, wenn der Fluss, der sein Bette stark erhöht, eine natürliche Niederung trifft, die sich nach einer Seite so weit ausdehnt, dass wegen der grossen Entfernung von der Hauptrichtung des Flusses die Bildung einer starken Strömung und sonach die natürliche Erhöhung daselbst unmöglich wird. Diese beiden Ursachen sind es, welche die meisten Versumpfungen, von denen hier die Rede sein wird, veranlasst haben.

Endlich aber ist die Verstopfung der Mündungen von kleinen Flüssen und Bächen, die sich unmittelbar in die See ergiessen, auch sehr häufig die Ursache von der Entstehung der Sümpfe, und dieses ebensowohl in dem Falle, wenn Fluth und Ebbe in dem Meere stattfinden, als wenn diese fehlen; der Wellenschlag ist es aber, der die Schliessung der Mündungen bewirkt und Sandbänke und Dünen vor ihnen aufwirft. Wenn aber eine solche Schliessung auch nicht vollständig erfolgt, so wird doch häufig

die Mündung in der Hauptrichtung des Windes und des Küstenstromes so weit verlegt, dass eben diese Verlängerung wieder die schnelle Abführung des Wassers verhindert. Findet der Küstenstrom nicht statt, so pflegt sich noch die Erscheinung zu zeigen, dass das Material, welches der Fluss mit sich führt, sich unmittelbar vor seiner Mündung niederschlägt, und indem es hier liegen bleibt, den Boden so sehr erhöht, dass das Ufer nach und nach sich seewärts ausdehnt und dadurch sich die Länge des Flusses vergrössert, was wieder Veranlassung zur Erhöhung des Wasserspiegels in dem Flusse und sonach zur Versumpfung ist. Die an der Mündung der meisten grösseren Ströme befindlichen Niederungen sind wahrscheinlich auf diese Art entstanden, wenn gleich manche Veränderungen, die seitdem eingetreten sind, heut zu Tage ihre Bildung nicht erlauben würden. Die Bedingung ist dabei immer die, dass keine heftige Küstenströmung statt finden darf; fehlt diese, wie es in geschlossenen Buchten zu geschehen pflegt, so bemerkt man auch jetzt noch, wie die Mündung des Flusses sich von Jahr zu Jahr weiter herauszieht; so rückte die Mündung des Po nach einer Mittheilung, die de Prony hierüber macht, vom 12ten bis 17ten Jahrhunderte jährlich um $6\frac{1}{2}$ Ruthen vor, seit dem Anfange des 17ten Jahrhunderts ist das Fortschreiten aber viel stärker geworden und beträgt jährlich sogar $18\frac{1}{2}$ Ruthen. Ebenso zeigt eine Vergleichung der älteren und neueren Charten der Nogat (eines Armes der Weichsel, der ohnfern Elbing in das Frische Haff mündet), dass deren Mündung von 1714 bis 1794 jährlich um $6\frac{2}{3}$ Ruthen, von 1794 bis 1838 aber jährlich um $11\frac{1}{2}$ Ruthen vorrückte.

Der Grund, weshalb in neuerer Zeit diese Verlandungen so sehr zugenommen haben und dadurch die Versumpfungen jetzt schneller sich bilden, als es früher der Fall war, ist in der Zerstörung der Waldungen und auch zum Theil in der Ausdehnung des Ackerbaues zu suchen. So lange nämlich der Boden seinen natürlichen Schutz durch Rasen und Strauch und Bäume hatte, die fest darin wurzelten, so wurde das Wasser, welches bei einem starken Regen darauf niederfiel, nicht nur zurückgehalten, so dass es sich nur langsam in den Betten der Bäche und Flüsse ansammeln konnte, sondern bei den vielen Hindernissen, die es auf diesem ersten Wege antraf, bewegte es sich auch so sanft und

berührte so wenig den nackten Boden, dass es von diesem wenig Erde und Sand mit sich führen konnte; sobald aber die Waldungen verschwunden sind und die Oberfläche in Ackerland verwandelt ist, wobei man immer für einen leichten Abfluss sorgt, so stürzt das Wasser, welches ein starker Regenguss liefert, sogleich den Bach- und Flussbetten zu und reisst von dem nackten und aufgelockerten Boden grosse Erdmassen mit sich, welche eben jene Versandung und Verlängerung der Flüsse erzeugen. Der nachtheilige Einfluss dieser Veränderungen giebt sich aber auch noch auf andere Art zu erkennen; manche Berge, die früher mit Waldungen bedeckt waren, sind durch Zerstörung derselben und durch den Versuch, die Flächen als Ackerland zu benutzen, von aller fruchtbaren Erde so entblösst, dass keine Schonung mehr darauf gedeiht. Dieses ist an manchen Stellen der Apenninen der Fall und auch in Deutschland fehlt es nicht an Beispielen dafür. Es bedarf übrigens kaum der Erwähnung, dass diese Veränderung der Erdoberfläche nicht nur auf die Verlängerung der Flussläufe, sondern auch auf die Erhöhung ihrer Betten hinwirkt und sonach auch zur Entstehung jener Art von Versumpfungen im hohen Grade beiträgt, deren schon Erwähnung geschehen ist.

Ich habe hier die verschiedenen Ursachen der Versumpfungen zusammengestellt, doch können die Methoden zur Beseitigung derselben hier nur insofern mitgetheilt werden, als sie sich auf kleinere Wassermassen beziehen; der eigentliche Deichbau und die Trockenlegung von niedrigen Meeresküsten wird erst später behandelt werden.

Soll nun das Project zur Entwässerung eines Sumpfes oder zur Trockenlegung eines Sees aufgestellt werden, so muss man sich zunächst durch eine genaue Localuntersuchung von der Ursache der Ansammlung des Wassers Rechenschaft geben, damit einer ferneren Einwirkung derselben gehörig vorgebeugt werden kann. Demnächst ist eine genaue Aufnahme des Terrains erforderlich. Ueber diese würde nichts zu bemerken sein, wenn die Fläche überall zugänglich wäre; dieses ist aber nicht der Fall, und da es nicht genügt, die Grenze der ganzen versumpften Gegend, sondern auch alle darin belegenen Vertiefungen und Erhebungen genau auf der Charte aufzutragen,

so muss man eine Methode wählen, wobei man die Messkette beinahe ganz entbehrt und man durch Winkelmessungen von einem einzigen Punkte aus schon immer in den Stand gesetzt wird, die Lage dieses Punktes genau zu bestimmen.

Hierzu empfiehlt sich zunächst die unter dem Namen der Potenotschen Aufgabe bekannte Methode, mittelst deren man die Lage eines Punktes finden kann, wenn man von demselben aus die beiden Winkel zwischen drei ihrer Lage nach bekannten Punkten gemessen hat. Die Formeln, wonach die Rechnung am leichtesten geführt werden kann, sind, wenn man die Lage der Punkte durch rechtwinkelige Coordinaten bestimmt, die folgenden: *)

x, x' und x'' seien die Abscissen der drei bekannten Punkte,

y, y' und y'' die Ordinaten derselben,

β und β' die gemessenen Winkel zwischen dem ersten und zweiten und dem zweiten und dritten Punkte, und

X und Y die gesuchte Abscisse und Ordinate des Punktes, in welchem die Winkel β und β' gemessen sind.

Man berechnet zunächst die folgenden Hülfsgrössen

$$tgt\,\varrho = \frac{y'-y}{x'-x}$$

$$tgt\,\varrho' = \frac{y''-y'}{x''-x'}$$

$$c = \frac{y'-y}{Sin\,\varrho} = \frac{x'-x}{Cos\,\varrho}$$

$$b = \frac{y''-y'}{Sin\,\varrho'} = \frac{x''-x'}{Cos\,\varrho'}$$

$$tgt\,\lambda = \frac{c\,.\,Sin\,\beta'}{b\,.\,Sin\,\beta}$$

$$\psi + \varphi = 180 + \varrho' - \varrho - \beta' - \beta$$

$$tgt\,\tfrac{1}{2}(\psi - \varphi) = tgt\,\tfrac{1}{2}(\psi + \varphi)\,.\,Cotg\,(45 + \lambda)$$

Daraus findet man ψ und φ und hiernach

$$\alpha = \psi + \varrho - 180$$

$$\alpha'' = \varrho' - \varphi$$

$$\alpha' = \alpha'' - \beta' = \alpha + \beta$$

ferner $$n = \frac{b\,.\,Sin\,\varphi}{Sin\,\beta'} = \frac{c\,.\,Sin\,\psi}{Sin\,\beta}$$

*) Grundzüge der Wahrscheinlichkeitsrechnung von G. Hagen. Berlin 1837. S. 105.

Endlich erhält man

$$X = x' \cdot n . Cos\, \alpha'$$

$$Y = y' - n . Sin\, \alpha'$$

Die Anzahl der Formeln ist hierbei nur dadurch so gross geworden, dass sie zur logarithmischen Berechnung möglichst bequem eingerichtet sind; überdies geben sie, wenn man sie sämmtlich benutzt, schon eine Controle der Rechnung, und wenn man die drei Signalpunkte zur Bestimmung mehrerer Stationspunkte benutzt, so braucht man einen Theil der Formeln nur einmal zu berechnen. Bezeichnet man nämlich mit A, B und C die drei zum Grunde gelegten Punkte, so dass für A die Coordinaten x und y, für B die x' und y' und für C die x'' und y'' gelten, und nennt man ausserdem den vierten Punkt, dessen Lage man sucht, D, so ist

$\beta = ADB$

$\beta' = BDC$

ϱ ist das Azimuth der Linie AB

ϱ' das der Linie BC

c die Länge der Linie AB

b die der Linie BC

endlich α, α' und α'' die Azimuthe der Linien DA, DB und DC.

Der gewöhnliche Fall ist indessen der, dass man nicht nur drei, sondern eine grössere Anzahl von Punkten zum Grunde legt, die ihrer Lage nach bekannt sind, und man von jedem einzelnen Stationspunkte aus nach so vielen derselben hinvisirt, als man deren sehen kann. Man erlangt dadurch eine grössere Sicherheit, indem grössere Fehler der Messung sich sogleich zu erkennen geben und man dem Einflusse derselben möglichst sich entziehen kann; auf welche Art man aber in diesem Falle bei gleichmässiger Benutzung aller Messungen das wahrscheinlichste Resultat darstellen und die Sicherheit desselben beurtheilen kann, ist in dem angeführten Werke mitgetheilt und an einem Beispiele erläutert worden.

Liegen die drei Hauptpunkte in einer geraden Linie, und nimmt man an, dass dieses die Abscissenlinie ist und überdies der Anfangspunkt der Abscissen mit dem mittleren Punkte oder mit B zusammenfällt, so werden die Grössen y, y', y'' und x' gleich Null, wodurch die obigen Formeln sich merklich vereinfachen;

dieses Verfahren wird von de Prony empfohlen, einige Erleichterung in der Rechnung darf man aber immer nicht als wesentlichen Vorzug der Methode betrachten, denn es ist weit wichtiger, die Hauptpunkte recht angemessen zu wählen, so dass sie überall bequem und deutlich gesehen werden können, und sie eine solche Lage haben, dass der Einfluss kleiner Beobachtungsfehler auf das Resultat möglichst geringe bleibt.

Diese Methoden werden indessen immer nur dazu dienen, um einige Zwischenpunkte im Sumpfe festzulegen, die man bei der weiteren Vermessung aufs Neue benutzen will und deren Lage man daher auch genau kennen muss; das Detail der Aufnahme, welches nur dazu dient, die Zeichnung zu vervollständigen, wird aber ohne Rechnung nur durch unmittelbare Auftragung vollendet. Man braucht also für die letzte Operation nicht mehr einen Theodolithen oder ein Astrolabium, sondern nur den Messtisch oder die Boussole. Mit dem Messtische lässt sich auch auf directe Art die Potenotsche Aufgabe lösen, doch ist diese Methode wegen der Hülfslinien, welche leicht die Zeichnung undeutlich machen und zu Irrungen Veranlassung geben, weniger bequem als die indirecte Methode. Am häufigsten und bequemsten wird aber hierbei die Boussole angewendet, und da mittelst derselben die Richtung jeder Linie, in der man visirt, gegen den magnetischen Meridian bestimmt wird, so erreicht man noch den Vortheil, dass man schon durch Visirung nach zwei bekannten Punkten die Lage des Stationspunktes bestimmen kann und die Benutzung eines dritten Punktes bereits zur Controle dient.

Einen Theil dieser Messungen muss man mit Instrumenten ausführen, die keiner festen Aufstellung bedürfen, indem der Boden entweder so nachgiebig ist, dass man den Theodolith in seiner Lage nicht sicher erhalten kann, oder man wohl gar gezwungen ist, auf einem Nachen die ganze Operation auszuführen, indem man hier die Tiefen- und zugleich auch die Winkelmessungen vornehmen muss. Man ist alsdann auf den Spiegel-Sextant und ähnliche Reflections-Instrumente beschränkt, doch muss man dabei die Vorsicht nicht ausser Acht lassen, dass man untersucht, ob die gemessenen Winkel auch wirklich nahe genug im Horizonte liegen. Bei der Aufnahme einer so ebenen Gegend, wie Sumpfflächen gewöhnlich zu sein pflegen, ist diese Bedingung nicht

schwer zu erfüllen, doch kann man auch immer zur Erlangung einer grösseren Genauigkeit die Hauptpunkte, die in diesem Falle am besten durch Kugeln, ähnlich den Thurmknöpfen, markirt werden, nicht nur in ihrer horizontalen Projection, sondern auch ihrer Höhe nach bestimmen. Misst man alsdann zwischen dreien solcher Punkte die drei schrägen Winkel, so findet man daraus nicht nur die Lage des Stationspunktes, sondern auch seine Höhe in Vergleich zu der der Hauptpunkte. Die letzte Bestimmung wird aber in diesem Falle immer viel ungenauer sein, als wenn man ein Nivellement macht. Endlich aber kann man zur Messung der Details noch mit grossem Vortheil die Schmalkaldensche Boussole anwenden, die einer festen Aufstellung gleichfalls nicht bedarf und bei der man durch einen Blick, während man sie in der Hand hält, das Einschneiden des Pferdehaares wahrnimmt und den Boussolengrad abliest.

Bei den obigen Formeln und allen hier angegebenen Operationen ist die Krümmung der Erdoberfläche ganz ausser Betracht geblieben, und dieses kann auch geschehen, insofern es sich nur um die Aufnahme kleinerer Flächen handelt; sollte aber die Ausdehnung des zu vermessenden Landstriches so gross sein, dass man die Correctionen wegen der sphärischen Oberfläche nicht vernachlässigen darf, so sind dieselben schon bei der Bestimmung der Coordinaten der Hauptzwischenpunkte einzuführen.

Was ferner die Ermittelung der Höhenlage des Bodens betrifft, so ist diese am leichtesten, wenn die zu entwässernde Fläche ein See ist, das heisst, wenn sie so hoch mit Wasser bedeckt ist, dass dasselbe eine horizontale Oberfläche annimmt. In diesem Falle verwandelt sich das Nivellement in eine blosse Peilung oder Tiefenmessung; hierüber wird bei Gelegenheit der hydrometrischen Messungen, die den Strom-Correctionen vorangehen, ausführlich die Rede sein. Ist dagegen der Sumpf ganz oder doch stellenweise stark mit Schilf oder Rohr verwachsen und dadurch der Wasserspiegel vielfach unterbrochen, oder wenn eine merkliche Strömung sich irgendwo darin zu erkennen giebt, so darf man nicht mehr voraussetzen, dass die Wasserfläche noch eine horizontale Ebene bildet. Man kann alsdann die Ausführung eines Nivellements nicht mehr umgehen, und zwar muss man sich in diesem Falle, wo eine grosse Genauigkeit nothwendig ist, eines

guten Instrumentes mit Fernrohr und Libelle bedienen. Es fehlt aber gemeinhin an der nöthigen Anzahl von Punkten, die fest genug sind, um das Instrument mit Sicherheit darauf stellen zu können, man muss sie daher wählen, wie sie sich gerade vorfinden, oder auch wohl durch Rüstungen sie künstlich darstellen und von diesen aus die Höhenlage des umgebenden Bodens an fest eingestossenen Visirlatten bestimmen. *)

Man könnte auch andere Methoden benutzen, um die Höhe der Stationspunkte zu finden, und es gehört hierher die bereits erwähnte, wonach man die schrägen Winkel zwischen drei bekannten Punkten misst. De Prony empfiehlt ein anderes Verfahren, nämlich an einem hohen und lothrecht aufgerichteten Baume sollen zwei scharf markirte Körper (etwa Kugeln) so angebracht werden, dass der eine möglichst hoch sich befindet und der andere so tief liegt, dass er nur eben von den Stationen aus noch gesehen werden kann. Misst man nun von einer der letzteren die Elevationswinkel der beiden Marken, deren Abstand von einander bekannt ist, so findet man daraus nicht nur die Höhe des Stationspunktes im Vergleiche zu diesen, sondern auch seine horizontale Entfernung; hat man aber den Verticalkreis, der hierbei benutzt wird, noch mit einer Boussole verbunden, so kann man gleich aus der Beobachtung dieses einzelnen Signales den geometrischen Ort und die Höhe des Stationspunktes erfahren. Wie bequem diese Methode aber auch immer erscheinen mag, so dürfte sie doch die Genauigkeit nicht erreichen lassen, die oft nothwendig ist und die man bei Anwendung eines guten Niveaus erwarten kann.

Die Resultate des Nivellements stehen mit der angefertigten Charte in genauer Beziehung, und es kommt darauf an, sie auf dieser so anzudeuten, dass man ein deutliches Bild von der ganzen Höhenlage der zu entwässernden Fläche erhält. Durch Anfertigung besonderer Nivellements-Profile erreicht man diesen Zweck nicht; es verschwindet alle Uebersicht, wenn man die verschiedenen Profile besonders nachschlagen muss, und es gewährt

*) Die Rücksichten, die zur Erlangung sicherer Resultate bei einem Nivellement zu nehmen sind, habe ich in dem angeführten Werke über die Wahrscheinlichkeitsrechnung im fünften Abschnitte ausführlich behandelt.

wenig Erleichterung, wenn sie auch unmittelbar eingezeichnet sind, wodurch überdies die Deutlichkeit der Charte zu leiden pflegt. Passender ist es, die Höhenlage aller gemessenen Punkte in Bezug auf den angenommenen Normalhorizont unmittelbar durch Zahlen einzuschreiben, und in Bezug auf die wichtigsten Punkte wird man dieses jedesmal thun müssen. Ein besonders klares und scharfes Bild von der Gestaltung der Oberfläche erhält man aber, wenn man in der Charte diejenigen Linien einträgt, die den Durchschnitt gewisser horizontalen Ebenen und der Oberfläche darstellen. Der höchste Wasserstand in der zu entwässernden Gegend mag 20 Fuss über dem angenommenen Normalhorizonte liegen; man denke sich, dass bis zu dieser Höhe der Sumpf mit stehendem Wasser bedeckt ist, dessen Spiegel also eine horizontale Ebene bildet, alsdann wird natürlich die Grenze dieses Wassers eine horizontale Linie sein, welche alle diejenigen Punkte des Terrains bezeichnet, die in der Höhe von 20 Fuss liegen. Ist diese Linie in der Charte eingetragen, so nehme man an, dass das Wasser um einen Fuss sich gesenkt hat und wieder einen horizontalen Spiegel bildet; so wird die neue Grenze wieder alle Punkte des Terrains bezeichnen, die in der Höhe von 19 Fuss liegen und so fort. Durch Eintragung aller dieser Linien in die Charte stellen sich alle Vertiefungen und die Grösse aller Abdachungen überaus deutlich dar, und man weiss von jedem einzelnen Punkte mit Bestimmtheit anzugeben, zwischen welchen horizontalen Durchschnittsebenen er liegt, und wenn man eine gleichmässige Abdachung an der fraglichen Stelle annimmt, die im Allgemeinen vorhanden ist, so kann man auch in kleineren Unterabtheilungen die Höhe genauer bezeichnen. In Frankreich ist diese Darstellungsart nicht ungewöhnlich, und sie kommt auch bei uns in dem Falle vor, wenn die Ausdehnung und Lage von Untiefen in grossen Wasserbassins und namentlich vor den Seehäfen angegeben werden sollen. Sie stimmt aber wesentlich auch mit den üblichen Methoden der Situationszeichnung nach der Lehmannschen und andern Manieren überein, und es fehlen nur die Bergstriche, welche hierbei eine sehr überflüssige Zugabe sind. Lehmann giebt ausdrücklich an, dass diese horizontalen Contouren zunächst gezogen werden müssen; ist dieses aber geschehen, so ist die Abdachung und Alles, was man weiter bezeichnen kann, wirklich

schon aufgetragen und zwar viel bestimmter und sicherer, als die Bergstriche dieses angeben können. Letztere verdunkeln aber die Zeichnung und machen es oft schwierig, die andern Specialien noch deutlich einzutragen, während sie es auch unentschieden lassen, wo oben und wo unten ist, da sie ebenso wie jene Contouren nur den Grad der Abdachung angeben. Indem nun aber die Contouren, wenn die Abstände der Horizontalebenen passend gewählt waren, die Charte keineswegs mit Linien überfüllen, so kann man leicht durch eingeschriebene Zahlen diesen Zweifel beseitigen, und es lässt sich auch der Zeichnung noch dadurch eine grosse Deutlichkeit geben, dass man Alles, was sich auf das Nivellement bezieht, mit anderer Farbe einträgt. Der allgemeinen Anwendung dieser Bezeichnungsart tritt aber eine andere Schwierigkeit entgegen; es ist nämlich nicht leicht die Höhenmessung so vollständig und so genau auszuführen, wie die Resultate sich darstellen, wenn sie auf diese Art eingetragen werden. Bei einem Projecte zur Entwässerung einer sumpfigen Gegend, sowie bei Anlage von Wasserleitungen und anderen Gelegenheiten, darf man die Mühe nicht scheuen, indem eine grosse Genauigkeit in dieser Beziehung nothwendig ist; für andere Zwecke, wobei es nur auf eine ungefähre Schätzung der Höhenlage ankommt, wählt man aber lieber eine Darstellungsart, die eben so ungenau ist, wie die Schätzung selbst es war.

Dass unter den Vorarbeiten, welche der Ausführung einer Melioration vorangehen müssen, die Untersuchung der Beschaffenheit des Bodens inbegriffen ist, darf kaum erwähnt werden, indem hiernach sich hauptsächlich der ganze Bewirthschaftungsplan richtet und sonach der zu erwartende Nutzen des ganzen Unternehmens beinahe ausschliesslich von der Güte des Bodens abhängt. Diese Untersuchung hat indessen auch noch einen andern mehr hydrotechnischen Zweck, nämlich zu ermitteln, ob der Boden sich bei der erfolgenden Austrocknung bedeutend senken wird, wodurch die Abführung des Wassers um so schwieriger werden würde. Bei Sand- und Kiesgrund hat man dieses wenig zu befürchten, bei einem stark durchweichten Thonboden in viel höherem Grade, doch am stärksten zeigt sich diese Erscheinung, wenn der Boden wie ein loser Torf aus durchwachsenen Wurzelfasern zusammengesetzt ist und er mitunter sogar förmlich

auf dem Wasser schwimmt. Die zu erwartende Senkung des Bodens ist aber nicht nur von der Beschaffenheit des weichen Obergrundes, sondern auch von der Tiefe oder Mächtigkeit desselben abhängig; man wird also durch Bohrversuche sich hiervon eine nähere Kenntniss verschaffen und demnächst durch ungefähre Schätzung diejenige Tiefe zu bestimmen suchen, zu der die Oberfläche sich senken möchte. Eine sichere Regel giebt es hierüber nicht, und nur über das Schwinden des festeren Klai- oder Marschbodens hat man einige wenige Erfahrungen gemacht. Man wird sonach wohlthun, die Dispositionen so zu treffen suchen, dass auch bei einer Senkung, die grösser ist, als man vermuthen konnte, dennoch die Abwässerung möglich bleibt.

Ferner sind die Bäche oder Flüsse, welche sich in den Sumpf ergiessen, oder dahin geleitet werden können, ein sehr wichtiger Gegenstand, und zwar kommt ausser der Höhe, in der man sie abfangen kann, auch ihre Wassermenge sowohl in der trockenen Jahreszeit, als nach heftigen Regengüssen und beim Schmelzen des Schnees in Betracht, und endlich ist in beiden Fällen noch die Beschaffenheit des Wassers zu untersuchen. Ein reines Wasser, oder ein solches, welches klar ist und worin Kalk oder Salz oder andere Bestandtheile aufgelöst sind, setzt keinen Niederschlag ab, man kann es daher durch die Entwässerungsgräben abführen, ohne befürchten zu dürfen, dass dieselben dadurch verschlämmt werden. Dieses Wasser ist indessen für die Cultur weniger nützlich und kann leicht der Vegetation sogar nachtheilig werden. Die Besorgniss des Verschlämmens der Gräben tritt schon ein, wenn Theilchen von Thon oder Humus im Wasser schweben und dasselbe dadurch getrübt ist; ein Wasser von dieser Art hat aber den grossen Vortheil, dass es den Boden düngt. Endlich können die Bäche auch Sand, Kies und Geschiebe und zwar vielleicht in grosser Menge mit sich führen, alsdann muss man sie mit grosser Sorgfalt von dem unmittelbaren Eintritte in die Entwässerungsgräben abhalten, weil dieselben dadurch sogleich verschüttet werden; dieses Wasser ist dagegen bei einem besonders niedrigen Boden von der äussersten Wichtigkeit, indem es zu den sogenannten Colmationen benutzt werden kann, das heisst, man sammelt es in grossen Bassins an, worin es zur Ruhe kommt und alle erdigen Stoffe und noch mehr das gröbere Geschiebe

fallen lässt und klar abfliesst; auf solche Art erhöhen diese Bassins sich bald so sehr, dass ihnen die natürliche Entwässerung gegeben werden kann, die sie früher nicht hatten.

Endlich sind die meteorologischen Verhältnisse auch noch in Betracht zu ziehen; man muss, wenn auch nur annähernd, nicht nur die Menge des jährlichen Niederschlages, sondern auch die grösste Regenmenge kennen, die an einem oder an zweien aufeinanderfolgenden Tagen in diese Gegend herabgefallen ist.

Inwiefern diese verschiedenen Data zur Entwerfung des Projectes benutzt werden, wird sich aus dem Folgenden ergeben; die Mittel, die man aber anwenden kann, um die Entwässerung zu bewirken, zerfallen in folgende:

1) Beförderung der Vorfluth. Dieses geschieht entweder durch Senkung des Wasserspiegels im Recipienten (d. h. in dem Flusse oder dem See, der die Entwässerungsgräben aufnimmt), oder durch Beseitigung der sonstigen Hindernisse des Abflusses.
2) Entfernung des fremden Wassers von der zu entwässernden Gegend, damit die Abzugsgräben keine andere Wassermenge abzuführen haben, als diejenige, welche als Regen in dem Sumpfe unmittelbar niederschlägt, oder in Quellen darin hervortritt.
3) Anlage der Entwässerungsgräben, deren angemessene Anordnung und Profilirung wesentlich zum Gelingen des ganzen Unternehmens beiträgt.
4) Erhöhung des Bodens in dem zu entwässernden Terrain durch Colmation oder durch den Niederschlag der hineingeführten fremden Flüsse.

Ausserdem kann man noch durch künstliche Entwässerung, das heisst durch Anwendung von Schöpfmaschinen, das Wasser entfernen, doch kommt dieses bei solchen Meliorationen, wovon hier die Rede ist, nicht leicht vor, und es wird sonach passender dieser Gegenstand bei Gelegenheit der Eindeichungen an den Mündungen der Ströme behandelt werden, woselbst seine Anwendung sehr gewöhnlich ist. Endlich mag hier auch noch erwähnt werden, dass man zuweilen durch Anpflanzung solcher Gewächse das Wasser zu entfernen gesucht hat, welche grosse Quantitäten

desselben consumiren. Namentlich eignen sich hierzu manche Baumgattungen, die man indessen alsdann nur als Strauch cultivirt, da das Treiben von recht vielen und kräftigen Zweigen hierbei besonders nöthig ist. Eine zehnjährige Weidenwurzel soll in sechs Tagen etwa einen Cubikfuss Wasser consumiren und sonach wäre die Wirksamkeit einer solchen Pflanzung allerdings beachtenswerth. Da man aber gewöhnlich eine andere und vortheilhaftere Benutzungsart des Bodens beabsichtigt, so wird hiervon nicht leicht Gebrauch gemacht werden können, wenn es nicht etwa zugleich darauf ankommt, Faschinenholz für die sonstigen Entwässerungsanlagen zu gewinnen.

Die Mittel, welche man hin und wieder anwendet, um einen sehr strengen, wenn auch hoch gelegenen Boden vor einer zu starken Durchnässung zu sichern und dadurch seine Fruchtbarkeit zu vermehren, was mittelst der unterirdischen Sickergräben oder Rigolen geschieht, werden schliesslich auch noch berührt werden.

§. 26.

Beförderung der Vorfluth.

Wenn die versumpfte Fläche sich neben einem Flusse befindet, der durch allmälige Verlandung seines Bettes und seiner nächsten Ufer die Veranlassung zum Entstehen des Sumpfes gab, so muss man untersuchen, ob der Wasserstand an der Stelle des Flusses, wo der Abzugsgraben einmündet, wieder gesenkt werden kann. Die dabei anzuwendenden Mittel werden bei Gelegenheit der Stromcorrectionen ausführlich behandelt werden, hier darf nur insofern davon die Rede sein, als man zuweilen die Länge des Flusses mittelst *Durchstechung* der grösseren und schärferen Krümmungen zu vermindern im Stande ist. Gelingt es, auf diese Art bald unterhalb der Einmündung des Abzugsgrabens eine Verkürzung des Stromlaufes vielleicht von 250 Ruthen hervorzubringen und stellt sich in dem neuen Flussbette beim Sommerwasser kein stärkeres relatives Gefälle dar, als das alte hatte, was freilich im Anfange nicht leicht geschieht, so gewinnt man dasjenige Gefälle, welches die frühere Mehrlänge des Flusses hatte. Ist das relative Gefälle $\frac{1}{2000}$, so wird man für die angenommene Verkürzung an absolutem Gefälle 18 Zoll gewinnen,

oder so viel senkt sich der Wasserspiegel des Flusses an der Stelle, wo er den Abzugsgraben aufnimmt; sobald dieses geschehen ist, so vermehrt sich das absolute Gefälle des Abzugsgrabens um eben diese Quantität, letzterer wird sonach viel kräftiger wirken, und wenn man ihn gehörig vertieft, so wird er auch fast um eben so viel den Wasserspiegel im Sumpfe senken. Solche Durchstiche sind aber gewöhnlich sehr kostbar, und zwar nicht nur in Bezug auf die eigentliche Ausführung, sondern auch wegen der vielfachen Entschädigungen, die dabei vorzukommen pflegen, und ausserdem darf man nicht erwarten, dass der neue gerade Flusslauf ohne weitern Angriff seiner Ufer und sonach ohne neue Serpentinen zu bilden sich unverändert in seinem Bette von selbst erhalten wird. Man kann daher von diesem Mittel nur Gebrauch machen, wenn man wirklich im Stande ist, um eine bedeutende Länge den Flusslauf zu verkürzen; ein Abschneiden flacher Krümmungen, wobei nur wenige Ruthen gewonnen werden, gewährt einen so geringen Vortheil, dass die Kosten dadurch nicht gedeckt werden.

Als Beispiel von dem günstigen Erfolge einer Geradleitung des Flusses, in Bezug auf die Senkung des Wasserspiegels, müssen zunächst die grossartigen Arbeiten angeführt werden, die seit einigen Jahrzehenden am Ober-Rhein zwischen Neuburg, etwa eine Meile oberhalb Karlsruhe und der Mündung des Frankenthaler Canales, eine Meile unterhalb Mannheim, auf der Grenze zwischen Baden und Rheinbayern ausgeführt sind. Die Stromlänge betrug hier früher $15\frac{3}{7}$ preuss. Meilen, und sie ist durch siebenzehn Durchstiche auf genau 10 Meilen reducirt, so dass man $5\frac{3}{7}$ Meilen an Länge gewonnen hat. Diese Durchstiche waren, als ich sie im Sommer 1838 sah, zwar beinahe vollendet, doch hatten sie grossentheils noch nicht den ganzen Strom aufgenommen und zum Theil waren sie noch nicht eröffnet, und dennoch zeigte sich schon der Erfolg, dass Karlsruhe gegenüber der Wasserstand des Hochwassers um 5 Fuss und der des Mittelwassers um 3 Fuss unter dem früheren blieb, und dadurch die Entsumpfung der weit ausgedehnten niedrigen und sehr fruchtbaren Ufer beinahe ohne weitere Anlagen von selbst erfolgte. Ferner erwähne ich die Geradleitung und Aufräumung der Linth zwischen dem Wallenstädter See und dem Züricher See. Durch den sehr geraden und regelmässigen Canal, der das neue Bette der Linth bildet und

der eine Länge von $2\frac{1}{4}$ preuss. Meilen hat, war im Jahre 1823 der Wasserspiegel des Wallenstädter Sees bereits um 8 Fuss gesenkt worden, während die Senkung noch dauernd zunahm. *)

Wenn der Fluss, in welchem der Abzugsgraben mündet, ein starkes Gefälle hat und zwar ein stärkeres als der Abzugsgraben braucht, so kann man in dem letzteren auch dadurch den Wasserspiegel senken, dass man ihn noch eine Strecke weit stromabwärts leitet und ihn dann erst einmünden lässt. Namentlich wird dieses Mittel Anwendung finden, wenn der Fluss vielen Sand oder gröberes Geschiebe führt und man aus diesem Grunde das vorhandene Gefälle in ihm selbst nicht ermässigen darf. Das Wasser, welches aus dem Sumpfe kommt und das eben wegen des geringen Gefälles keine starke Strömung in dem Abflussgraben annehmen kann, ist immer sehr rein und giebt keine Veranlassung zu Versandungen; hat man daher dem Canale einmal ein tiefes Profil gegeben, so erhält sich dieses auch lange Zeit hindurch und eben deshalb ist kein starkes Gefälle zur Abführung der ganzen Wassermenge nothwendig. Auf solche Art kann leicht ein Abzugsgraben, der 2 bis 3 Fuss tiefer als der Fluss liegt, in der Entfernung von etwa einer Viertelmeile in denselben sich ergiessen. Sollte es aber unwahrscheinlich sein, dass ein grösserer Fluss ein stärkeres Gefälle hat als ein damit parallel geführter kleiner Wasserlauf, so darf nur an die Elbe und Havel erinnert werden, die zwischen Genthin und Werben etwa auf 8 Meilen Länge parallel neben einander fliessen. Bei Werben unterhalb Havelberg ergiesst sich die Havel in die Elbe, bei Genthin aber sind beide Flüsse durch den Plauenschen Canal mit einander verbunden, und in diesem liegen drei Schleusen, die sämmtlich das Oberwasser auf der Seite nach der Elbe haben, woraus es sich ergiebt, dass hier die Elbe etwa 15 Fuss höher als die Havel liegt. Durch die Havel wird die ganze sehr tief gelegene Gegend zwischen Elbe und Oder entwässert, und da sie durchschnittlich auf die Meile Flusslänge nur $1\frac{1}{2}$ Fuss Gefälle hat, oder dieses nur $\frac{1}{16000}$ beträgt, so ist sie trotz der sehr vielen Krümmungen, die sie macht, dennoch im Stande, schon bei Werben das Niveau der Elbe zu gewinnen und darin auszumünden.

*) Vergl. meine Beschreibung neuerer Wasserbauwerke. S. 233 ff.

Wenn man auf die angegebene Art den Abzugsgraben neben dem Flusse hinführt, so kann es nicht fehlen, dass der erstere manche Bäche kreuzt, die dem letzteren zufliessen. Will man diese in den Graben eintreten lassen, so wird dadurch nicht nur die Wassermenge vermehrt, so dass ein stärkeres Gefälle sich bildet und sonach der Wasserstand in der zu entsumpfenden Gegend anwächst, sondern es tritt auch noch der andere Uebelstand ein, dass das Material, welches der Bach, wenigstens zur Zeit seiner Anschwellung, mit sich führt, das Bette des Grabens verflacht und dadurch aufs Neue die Wirksamkeit der Anlage beeinträchtigt. Man muss also die beiden Wasserläufe von einander trennen und dieses ist nur möglich, wenn man einen über dem andern fortführt. Da der Abzugsgraben beinahe auf seine ganze Länge tiefer liegt, als der Fluss daneben, und dagegen der Bach höher als dieser an derselben Stelle ist, indem er sich in ihn ergiesst, so erscheint es schon aus diesem Grunde angemessen, den Bach in einem Brückencanale über den Graben zu führen; es giebt aber auch noch andere Gründe, die gerade für diese Anordnung sprechen. Insofern nämlich der Graben aus einer Ebene das Wasser abführt, wo die Zuflüsse wenig Gefälle haben und wo bei starkem Regen die Ufer auch bald inundirt werden, so kommen hier keine starken Anschwellungen vor, und man darf der Brückenöffnung, durch welche man ihn leitet, keine so grosse Weite geben, als möglicher Weise ein Bach erfordern würde, der in höherem Terrain entspringt und oft in sehr kurzer Zeit hoch anschwillt. Sodann aber ist man auch häufig gezwungen, denjenigen Wasserlauf, der bei der Durchkreuzung der untere ist, zu senken, und dieses muss immer geschehen, sobald beide Wasserstände nahe in gleicher Höhe liegen. In diesem Falle würde ein Bach, der Sand und Geschiebe führt, die vertiefte Rinne bald sperren und sich alsdann in den darüber befindlichen Graben ergiessen, wogegen umgekehrt der letztere, wenn er die vertiefte Rinne passirt, dieselbe offen erhält, indem sein Wasser von grobem und schwerem Materiale frei ist. Dennoch muss man, um ein mögliches Verstopfen zu verhindern und um häufigen Räumungen vorzubeugen, scharfe Ecken vermeiden und in einer sanften Krümmung den Graben hindurchführen. Fig. 121 auf Taf. XII. zeigt das Profil, welches Gugliel-

mini *) in dieser Beziehung empfiehlt und wobei eine stärkere Strömung die etwanigen Ablagerungen wieder von selbst entfernt. Was über die Construction von Brückencanälen zu bemerken ist, wird bei Gelegenheit der Schifffahrtscanäle, wo sie in viel grösserem Maassstabe vorkommen, mitgetheilt werden.

Da jeder Fluss gewissen Anschwellungen unterworfen ist und dieselben in den meisten Fällen so hoch sind, dass sie das geringe Gefälle der Abflussgräben ganz aufheben, so hört während dieser Zeit die Entwässerung auf, und gemeinhin würde auch das Hochwasser durch die Gräben in die zu entwässernde Gegend treten und selbige inundiren, wenn man es nicht durch besondere Anlage davon zurückhielte. Einer Ueberfluthung kann hierdurch gewöhnlich nicht vorgebeugt werden, indem die Anschwellung des Flusses und sonach die Unterbrechung der Abwässerung fast immer so lange anhält, dass das Sammelwasser in der Niederung endlich selbst aus den Ufern der Gräben tritt und die niedrigsten Umgebungen oder auch wohl das ganze Terrain überschwemmt; dagegen verhindern aber jene Anlagen das Eintreten des trüben Flusswassers und sonach die Verschlämmung der Gräben. Bei Flüssen fällt die Periode der höchsten Anschwellung gemeinhin in eine Jahreszeit, wo der Graswuchs dadurch gar nicht leidet und wo auch für den Ackerbau der höhere Wasserstand, wenn er nicht zu lange anhält, unschädlich ist. Jedenfalls muss bei der Aufstellung des Culturplanes hierauf schon Rücksicht genommen werden. Zuweilen trifft es sich aber, dass die Anschwellungen von so kurzer Dauer sind, dass die geringe Unterbrechung der Entwässerung kein Austreten der Abzugsgräben veranlasst; dieses kann namentlich bei kleinen Gebirgsflüssen der Fall sein, und besonders geschieht es, wenn der Abzugsgraben nicht in einen Fluss oder Strom, sondern in das Meer mündet, wo die Anschwellung von der Fluth herrührt. Hier dürfen jene Anlagen zur Abhaltung des Hochwassers, das nur wenige Stunden dauert, nie fehlen; wollte man sie umgehen, so würde das Wasser abwechselnd immer aus- und einströmen, und ein grosser Uebelstand wäre noch der, dass jedesmal, sobald von innen und aussen

*) *Trattato fisico matematico della natura de' Fiumi* in der *Raccolta d'autori Italiani che trattano del moto dell' acque. Tom. I.*

ein gleicher Wasserstand eintritt und sonach die Strömung aufhört, der durch den Wellenschlag in die Mündung hineingeführte Sand oder das sonstige Material sich hier niederschlägt und den Graben bald verschüttet.

Die Anlagen, welche das Eintreten des Hochwassers von aussen in die Abzugsgräben verhindern, ohne den Ausfluss des Binnenwassers zu hemmen, sobald jenes aufgehört hat, nennt man Siele; ihre Construction wird bei Gelegenheit des Deichbaues beschrieben werden. Im Allgemeinen ist hier über sie nur zu bemerken, dass sie in dem Falle, wo die Aenderung des Wasserspiegels sehr schnell und häufig erfolgt, so eingerichtet sind, dass sie von selbst sich schliessen und öffnen, indem sie mit Klappen oder Thüren versehen werden, die nach aussen aufschlagen; wenn aber der Graben in einen Fluss mündet, der langsam und selten anschwillt, so gewähren Schützen, die durch Aufseher gehoben und geschlossen werden, eine grössere Sicherheit und gewöhnlich auch einen freieren Abfluss für das ausströmende Wasser. Unmittelbar an dem Ufer des Flusses oder an dem Strande des Meeres kann man solche Siele nicht erbauen, indem sie daselbst eine zu gefährliche Lage haben würden, doch bringt man sie gern so nahe dabei an, wie dieses irgend zulässig erscheint, indem der Graben zwischen ihnen und dem Flusse oder dem Meere immer sehr schnell verlandet und daher oft geräumt werden muss. Das Siel allein kann indessen nur in dem Falle den Eintritt des Hochwassers verhindern, wenn es in einem hohen wasserfreien Ufer liegt; dieses kommt beinahe nie vor, und man muss daher noch Deiche damit in Verbindung setzen, welche den Abschluss erst vervollständigen.

Endlich wäre hier noch zu erwähnen, dass der Abzugsgraben an einer Stelle das Flussbette treffen muss, wo die gehörige Wassertiefe nahe am Ufer vorkommt und wo auch keine Ablagerung von Material stattfindet. Diese Bedingung steht immer der oben angegebenen entgegen, dass nämlich das Siel dem Angriffe des Flusses entzogen sein soll. Wenn nicht etwa das Ufer aus Felsen besteht, möchte man nicht leicht eine Localität finden, die diesen sämmtlichen Erfordernissen entspricht, und sonach wird man fast immer darauf gefasst sein müssen, entweder durch kostbare Uferdeckungen das Siel und den Deich vor dem Angriffe des Flusses

sicher zu stellen, oder im Flussbette selbst vor der Mündung des Abzugsgrabens und in derselben bis zum Siele häufige Aufräumungen vorzunehmen. Indem die letzte Arbeit nach jedem Hochwasser nothwendig wird und sie häufig auch noch zu anderer Zeit nicht umgangen werden kann, wenn man die Entwässerung nicht unterbrechen will, so scheint es im Allgemeinen vortheilhaft, die Ausmündung so anzuordnen, dass man vor diesen Versandungen möglichst geschützt ist, wenn auch manche Anlagen zur gehörigen Sicherung gegen den Angriff des Wassers erforderlich sein sollten. In dieser Beziehung empfehlen sich nun die Stromkrümmen und zwar die concaven Ufer ganz besonders für die Einmündungen der Abzugsgräben. Es befindet sich hier gemeinhin die grosse Tiefe unmittelbar an dem Ufer, und die Besorgniss vor Ablagerungen tritt am wenigsten ein, da schon das Ufer im Angriffe liegt, und wenn es nicht künstlich gehalten wird, immer weiter zurückweicht.

Es ist bisher nur die Rede davon gewesen, wie man die Vorfluth durch Darstellung einer möglichst tiefen Mündung des Abzugsgrabens zu befördern sucht, es kann aber auch geschehen, dass in dem Abzugsgraben selbst künstliche oder natürliche Wehre vorhanden sind, welche vor sich den schädlichen Aufstau bilden. Dieser Fall ist gar nicht selten, und namentlich sind es sehr häufig Mühlenanlagen, durch welche die ganze Versumpfung veranlasst wurde und durch deren Beseitigung schon das Uebel gehoben werden kann; zuweilen ist aber auch die gänzliche Fortschaffung der Mühle nicht erforderlich und es genügt die Anbringung eines gehörig weiten und tiefen G r u n d a b l a s s e s, wodurch schon der Erhöhung des Flussbettes vorgebeugt wird. Unzulänglich sind in diesem Falle aber Wehre und solche Freigerinne, die bedeutend höher als die Sohle des natürlichen Flussbettes liegen, indem sich von ihnen das letztere dauernd erhöht und dadurch der Abfluss immer mehr und mehr gehemmt wird.

Solche Wehre, welche den Abfluss des Wassers hemmen und es vor sich aufstauen, können aber auch eine natürliche Veranlassung haben; von der Ablagerung von Sandbänken und Geschieben ist schon früher die Rede gewesen, doch sind es zuweilen auch zusammenhängende Gebirgsmassen und B e r g r ü c k e n, welche ein Thal sperren und dadurch dasselbe in einen See verwandeln.

Bei den vielen Seen, welche den nördlichen und zum Theil auch südlichen Abhang der Alpen umgeben, ist dieser Fall jedesmal eingetreten, und man muss wohl annehmen, dass unmittelbar nach der Bildung der jetzigen Erdoberfläche die Anzahl und Ausdehnung solcher Seen viel grösser war, als sie jetzt ist, indem jede Veranlassung zur neuen Bildung derselben fehlt und dagegen die vorhandenen theils durch Anfüllung des Bettes und theils durch Vertiefung des Abflusses immer mehr und mehr verflächt werden und zuletzt verschwinden. Der Fall, dass man künstlich die Seen dieser Art ablässt, ereignet sich nicht häufig, und es treten dabei, wenn eine starke Senkung beabsichtigt wird, auch grosse Schwierigkeiten ein, die sich am besten aus der Mittheilung eines hierher gehörigen Beispiels ergeben werden.

Der Lungernsee im Canton Unterwalden wird durch eine 700 Fuss hohe Bergwand gebildet, welche das ganze Thal sperrt; sie besteht unmittelbar neben dem See, oder auf ihrer südlichen Seite aus einem sehr festen, feinkörnigen und kieselhaltigen Kalke, in welchem das überströmende Wasser aus dem See kein tiefes Bette sich einschneiden konnte, während weiter abwärts nach der Nordseite hin in der Nähe der hohen Kuppe, der Kaiserstuhl genannt, ein schroffes und tiefes Thal in dem weichern, in Kreide übergehenden Gesteine sich gebildet hatte, worin das überfliessende Seewasser herabstürzte. Dieser Gebirgszug erhebt sich von der Nordseite oder vom See her minder steil, doch in Süden fällt er auf 240 Fuss beinahe senkrecht ab; dieser Punkt liegt nahe 145 Fuss unter dem Spiegel des Sees; wenn es also glückte, von hier einen Stollen nach dem See hindurchzutreiben, der etwa 100 Ruthen lang sein müsste, so war es möglich, den See vielleicht um 120 Fuss und mehr zu senken und dadurch etwa 500 Morgen Landes zu gewinnen, die wahrscheinlich zum Ackerbau tauglich waren. In geringer Entfernung und in dem Thale desselben Baches bei Giesswyl war ein ähnliches, jedoch viel leichteres und unbedeutenderes Unternehmen glücklich zu Stande gebracht worden; so hoffte man denn auch hier die Schwierigkeit zu überwinden und im Jahre 1788 beschloss die Gemeinde Lungern, die Arbeit zu beginnen. Der Director eines Bleiwerkes in der Nähe wurde noch zur nähern Untersuchung und Begutachtung aufgefordert, und da derselbe zu dem Werke anmahnte und grosse

Vortheile verhiess, so wurden schnell vier Bergleute bestellt, die im Ausgange des Jahres 1790 den Stollen an der bezeichneten Stelle und zwar zur Seite des tief eingeschnittenen Bachbettes eröffneten. Der Stollen wurde 6 Fuss hoch und 5½ Fuss breit ungefähr in der nächsten Richtung nach dem See mit geringer Ansteigung geführt, und da das Gestein ziemlich weich war, so schritt die Arbeit Anfangs regelmässig vor und 1798 war man beinahe 60 Ruthen weit glücklich gekommen. Doch nunmehr gerieth das Unternehmen aus manchen Gründen in Stocken; die aufgebrachte Summe war verausgabt, die Arbeit wurde wegen Mangels an Luftwechsel sehr erschwert, und endlich traten in dieser Zeit auch die Kriegsunruhen ein und der bisherige Eifer für dieses Werk wich dem politischen Interesse. Endlich im Jahre 1806 war durch eine Anleihe wieder eine Summe disponibel gestellt worden, und man machte mit um so grösseren Hoffnungen sich aufs Neue ans Werk, als in der ganzen Eidgenossenschaft sich eine rege Theilnahme für das Unternehmen zeigte und höher stehende Bergbeamte in gewissem Grade der Beaufsichtigung sich unterzogen. Nichts desto weniger war der Erfolg diesesmal sehr unbedeutend, die 22000 Gulden waren in zwei Jahren ausgegeben und der Stollen hatte dabei nur um 4 Ruthen an Länge gewonnen. Es erfolgte nun eine sehr lange Unterbrechung, wenn gleich Escher, derselbe, der durch die Ableitung des Wallenstädter Sees ein so grosses Verdienst sich erworben hat, seit dem Jahre 1812 auch diesem Unternehmen seine Theilnahme und Mitwirkung angedeihen liess; er lenkte besonders die Aufmerksamkeit auf die Frage, wie man die Verbindung des Stollens mit dem See darstellen wollte. Bisher hatte man hieran kaum gedacht; aber es war offenbar, dass das ganze Unternehmen fruchtlos bleiben musste, wenn man nicht ein Mittel erfand, wodurch die letzte Scheidewand zwischen dem Stollen und dem See entfernt werden konnte. Escher selbst rieth, von dem Rande des Sees einen Schacht nach dem Stollen herabzuteufen und dann einen offenen, immer mehr und mehr zu vertiefenden Graben zwischen dem Schachte und dem See darzustellen, bis man den See etwa um 24 Fuss gesenkt hätte. Alsdann sollte vom neuen Rande des Sees auf 24 Fuss Tiefe ein zweiter Schacht herabgeführt und durch einen horizontalen Stollen mit dem ersten in Verbindung

gesetzt werden. Dasselbe Verfahren war fünfmal zu wiederholen, wodurch offenbar sehr sicher, aber freilich auch auf eine sehr kostbare Art die volle Tiefe sich erreichen liess. Auf Veranlassung von Escher wurden indessen auch andere Vorschläge gemacht, man rieth, den Stollen in der angefangenen Art bis dicht an den See zu führen und dann durch eine grosse Menge Bohrlöcher, die von oben in das Bette des Sees getrieben würden, die Verbindung darzustellen. Dieser Vorschlag wurde besonders empfohlen und man schien sich auch dafür zu entscheiden, wiewohl die Einwohner von Lungern doch immer den schnellsten und wirksamsten Erfolg von einer starken Mine erwarteten, welche die letzte Scheidewand mit einem Male durchbrechen sollte; das Sächsische Oberbergamt in Freiberg hatte in einem hierüber abgegebenen Gutachten vom 27. Septbr. 1833 dieses Verfahren auch ausdrücklich empfohlen.

Die Mittel der Gemeinde waren indessen durch die früheren Anstrengungen und durch die Schuldenlast, welche das Unternehmen ihnen schon aufgebürdet hatte, völlig erschöpft, und die Hoffnung an ein erspriessliches Ende verschwand immer mehr, da bereits 40 Jahre seit dem Beginne der Arbeit verflossen waren. Ein Einwohner aus Stanz, Melchior von Deschwanden, wusste indessen den Eifer aufs Neue zu beleben; er bildete im Jahre 1832 eine Actiengesellschaft und brachte bald noch ein Capital von 16000 Francs zusammen. 1833 begann die Arbeit aufs Neue. Es zeigte sich nunmehr, dass man bedeutend von der kürzesten Linie nach dem See abgewichen war und man in der letzten Zeit sogar in einer Richtung gearbeitet hatte, die nur unter einem Winkel von 45 Graden sich dem Seeufer näherte. Nunmehr wurde von dem letzten Endpunkte aus die passende Richtung durch eine sanfte Krümmung wieder gewonnen und diese auch ferner beibehalten, dabei aber gab man dem Stollen eine etwas stärkere Neigung, als er bisher gehabt hatte, indem man überhaupt nur den See um etwa 120 Fuss abzulassen gedachte; das Gefälle in dem Stollen oder dem Abzugscanale schien aber für die dauernde Wirksamkeit desselben nothwendig zu sein, indem der Wasserdruck vor der Einmündung späterhin ganz aufhören sollte. Im Herbste 1834 war man dem Seeufer so nahe gekommen, dass man es nicht mehr wagte, mit der Sprengarbeit unmittelbar

vorzugehen; man trieb Bohrlöcher von 20 Fuss Länge voraus und liess dieselben immer wenigstens 12 Fuss vor dem Stollen vortreten, und ebenso trieb man auch 12 Fuss lange Bohrlöcher nach oben, um auch von hier gegen einen möglichen Einbruch gesichert zu sein. Dabei sorgte man auch durch Wettergebläse für den Luftwechsel. Durch das festere Gestein, das man hier antraf, wurde indessen die Arbeit ausserordentlich erschwert. Endlich am 14. April 1835, nachdem man schon lange den See zu erreichen gehofft hatte, durchstiess ein Bohrer die äussere Oberfläche des Gesteins und drang einige Fuss weit in den See hinein; ein dicker Schlamm quoll neben dem Bohrer hervor und ihm folgte ein Strahl klaren Wassers, der 30 Fuss weit in den Stollen spritzte. So war denn, nachdem fast ein halbes Jahrhundert verflossen, der See wirklich erreicht, und wenn gleich von denen, die als Jünglinge das Werk mit Eifer begonnen hatten, nur Wenige noch als Greise die frohe Nachricht vernahmen, so war dennoch die Theilnahme im Dorfe allgemein.

Nun kam es aber zunächst darauf an, sich zu überzeugen, ob man auch wirklich den See, oder vielleicht nur eine tiefe Felsenspalte angebohrt hatte; um hierüber sicher zu sein, liess man ein Tau, das an zwei Böten hing, längs dem Seeboden an dieser Stelle streichen. Man fasste damit bald Steine, bald Baumstämme, doch endlich hing das Tau an einem Gegenstande, der nicht nachgab. Man zog das Tau wiederholentlich plötzlich an, und die Arbeiter im Stollen, die den Bohrer hielten, empfanden die Erschütterungen; die Wahrnehmung der Zeit an übereinstimmenden Uhren liess keinen Zweifel, dass es das vortretende Ende des Bohrers war, woran die Leine hing, und sonach wusste man, dass wirklich das Felsenufer des Sees durchstossen war.

Sodann entstand die Frage, wie eine gehörig weite Mündung nach dem See zu eröffnen sei, denn dass die Bohrlöcher keinen Erfolg haben würden, zeigte sich schon deutlich, indem das erste, sowie einige folgende, die man zur Untersuchung der Begrenzung des Ufers von dem Stollen aus vortrieb, bald durch Steine und Sand verstopft wurden, die der heftige Strom vor- und in ihre Mündung trieb. Die äussere Fläche des Felsens war auf 3 Fuss Dicke ein klüftiges Gestein, durch welches schon Wasseradern drangen und welches keine Sicherheit bei einer weitern Fortsetzung

der Sprengarbeit gewährte; man befand sich aber 122 Pariser Fuss (126 Preussische Fuss) unter dem Spiegel des Sees und 220 Pariser Fuss (228 Preuss. Fuss) jenseits des Seerandes; die Felswand, die den Stollen vom See trennte, hatte noch die Stärke von 15 Fuss.

Man entschied sich unter diesen Umständen für den Versuch, die Stollenmündung durch eine starke Mine zu sprengen und folgte dabei im Allgemeinen dem Gutachten, das aus Freiberg eingegangen war. Zu diesem Zwecke wurde in der Decke des Stollens eine 6 Fuss hohe Kammer ausgearbeitet, welche das Pulverfass aufnehmen sollte; die Wandstärke des festen Gesteines betrug über ihr nicht mehr als 4 Fuss. Der Ingénieur Sulzberger, der in der letzten Zeit die Arbeit geleitet hatte, liess auch noch ohnfern der untern Mündung des Stollens ein Schütz anbringen, das durch einen 12 Fuss hohen engen Schacht von oben geschlossen werden konnte, um für den Fall, dass die ausstürzende Wassermenge für die untere Gegend gefährlich werden sollte, den Abfluss zu mässigen. Nach diesen Vorbereitungen wurde endlich in den ersten Tagen des Jahres 1836 zum Einsetzen der Mine geschritten; ein eichenes, gehörig versichertes Fass, worin ein starker lederner Sack lag, wurde mit 950 Pfund Pulver gefüllt; durch den Boden desselben ging bis zur Mitte ein metallenes mit Pulver gefülltes Rohr, an welches die Zündröhre befestigt werden konnte. Mit grosser Mühe schleifte man das Fass durch den Stollen bis in die Kammer und hob es nach und nach bis zur Decke derselben, indem man schichtenweise eine grosse Menge von Holzklötzen darunter legte; man wählte aber diese statt der Steine, um zu keiner Sperrung des Stollens Veranlassung zu geben. Die Zündröhre, welche eine Länge von 35 Fuss hatte und in einem ¾ Zoll dicken mit Harz überzogenen Schlauche bestand, der noch in Holzröhren steckte, wurde mit der äussersten Mühe eingebracht und an das Fass befestigt. Diese Arbeit war aber theils wegen des starken Zudranges des Grubenwassers, wogegen die Mündung der Röhre gesichert bleiben musste, so schwierig, theils aber auch wegen der äussersten Verdorbenheit der Luft, denn bei dem starken Zudrange von Menschen, die alle behülflich sein wollten, brannte zuletzt kein Licht mehr in der Nähe der Kammer. Endlich wurde dicht vor der Kammer der Stollen auf

15 Fuss Länge mit kleinen Steinen und Sand sorgfältig ausgefüllt, um auf diese Art hier den sichern Schluss zu bilden und dadurch die Wirkung des Schlusses nach der Seite des Sees zu leiten. Die Zündröhre reichte auf der andern Seite aus der Sandmasse hervor, um daran die Brandröhre zu befestigen.

Am 9. Januar 1836 räumte man früh Morgens noch den Stollen von allem Holze und den sonstigen darin befindlichen Geräthschaften, und dann trug ein Bergmann die Brandröhre hinein, befestigte sie an der Zündröhre, deren äusseres Ende trocken befunden wurde und zündete sie an. Ein Pistolenschuss verkündete der zahllosen Menschenmenge, die theils am See, theils auf dem Bergrücken und in der Nähe der Stollenmündung sich versammelt hatte, die glückliche Zurückkunft des Bergmannes. Eilf Minuten verstrichen darauf in banger Erwartung der Zuschauer, da vernahm man unmittelbar aufeinanderfolgend zwei dumpfe Töne aus der Tiefe; doch ganz unbewegt lag die Eisdecke auf dem See, und in den ersten Secunden zeigte sich auch in der Mündung des Stollens nichts, was einen glücklichen Erfolg gezeigt hätte. Bald aber drang hier eine dicke Rauchwolke hervor, und ein mächtiger Strom trüben Wassers, der ihr nachstürzte, liess keinen Zweifel mehr, dass ein kräftiger Abfluss wirklich eröffnet sei. Das Wasser nahm bald seine volle Klarheit wieder an und am Morgen des andern Tages hatte der See sich schon um 3 Fuss gesenkt.

Die hervordringende Wassermenge war aber in der That zu gross, als dass das Thal des Baches sie hätte fassen können, der vor hundert Jahren abgelassene See bei Giesswyl bildete sich aufs Neue, doch bot die angebrachte Schützvorrichtung ein leichtes Mittel, den Abfluss beliebig zu mässigen, und so verminderte man die Oeffnung, die Anfangs 12 Quadratfuss gemessen hatte, auf $7\frac{1}{2}$ Fuss, wodurch der See bei Giesswyl bald wieder ablief.

Nach einigen Tagen, während der Spiegel des Sees regelmässig sich senkte, trat indessen ein anderes Ereigniss ein, welches die ernstlichsten Besorgnisse wegen der weiteren Erfolge erweckte. Am 15. Januar, als die Senkung im Ganzen 14 Fuss betrug, zeigte sich nämlich dicht neben dem Dorfe Lungern eine Spalte im Boden, und kaum hatte man Zeit ein davorstehendes Wohnhaus mit den Scheunen abzutragen, so glitt die dahinter-

gelegene Fläche, mehrere Morgen gross und mit Obstbäumen bepflanzt, ohne sich zu theilen, herab und verschwand im See. An eine solche Erscheinung hatte man wenigstens in der letzten Zeit nicht gedacht, obgleich bei den ersten Berathungen über das Ablassen des Sees die Einwohner von Lungern schon einige Besorgniss in dieser Beziehung gezeigt haben sollen. Der Fall war aber wesentlich von derselben Art, wie er auch sonst vorkommt, und namentlich stürzen Flussdeiche und hohe Ufer nicht selten ein, sobald das Hochwasser verschwindet; der stark durchweichte Boden wird nämlich nur durch den Gegendruck des Wassers gehalten, hört letzterer auf, so gleitet auch der erstere herab. Glücklicher Weise zeigte sich kein weiterer Unfall dieser Art.

Am 25. Februar zeigte sich die obere Mündung des Stollens, sie hielt 8 bis 9 Fuss im Durchmesser, und es wäre leicht, durch Abtreiben ihres südlichen Randes den See noch um etwa 12 Fuss tiefer, nämlich bis zur Sohle des Stollens zu senken. Die erwarteten Flächen Landes waren wirklich zum Vorscheine gekommen, aber freilich in einem Zustande, dass an eine unmittelbare Benutzung derselben als Ackerland nicht zu denken war, und namentlich liessen die Bäche, die über sie nach dem noch bleibenden See strömen, grosse Verwüstungen befürchten, wenn man sie nicht in ein regelmässiges Bette einschliesst und einer Ablagerung des Gerölles, was sie mit sich führen, vorbeugt. Wie weit man hiermit in den letzten Jahren gekommen sein mag, ist nicht bekannt geworden. *)

§. 27.

Entfernung des fremden Wassers.

Insofern eine zu entsumpfende Gegend immer an der niedrigsten Stelle des Thales liegt, so wird alles Wasser, welches der Fluss oder Bach herabführt, oder welches seitwärts von dem höheren Terrain hier dem Flusse zuströmt, sich in die Niederung ergiessen, welche man trocken legen will. Man hat also nicht nur die Wassermenge hier abzuführen, die als atmosphärischer

*) Die vorstehende Beschreibung ist entlehnt aus einer kleinen Schrift, betitelt: „die Tieferlegung des Lungernsees.“ Zürich 1836.

Niederschlag oder durch Quellen unmittelbar in dem Sumpfe sich sammelt, sondern auch fremdes Wasser, das bei einer andern Vertheilung des Gefälles sehr gut dem Flusse zugeführt werden könnte; da dieses aber immer dem stärksten Abhange folgt, so stürzt es sogleich bis zur grössten Tiefe herab und kann alsdann wegen Mangels an Gefälle sich nicht eher entfernen, bis es zu einer gewissen Höhe angeschwollen ist und dadurch die Inundation vergrössert hat. Es ergiebt sich aber aus den allgemein angenommenen Gesetzen über die Bewegung des Wassers in offenen Leitungen, dass derselbe Abzugsgraben bei gleicher Anfüllung ein stärkeres absolutes Gefälle haben muss, wenn er eine grössere Wassermenge abführen soll, und da letztere bei der vorausgesetzten gleichen Profilweite direct der mittleren Geschwindigkeit proportional ist, so braucht man, wenn die Wassermenge auf die Hälfte reducirt wird, nur den vierten Theil des Gefälles, und es kann leicht geschehen, dass man hierdurch allein schon den Wasserspiegel um einige Fuss senkt.

Man erreicht indessen durch die Abschliessung des fremden Wassers auch noch andere wichtige Vortheile. Die Bäche und Flüsse, welche stärkeres Gefälle haben, führen nämlich auch vielen Sand und vieles Geschiebe mit sich, und sie werfen dieses, wenn man sie durch die Abzugsgräben der Niederung ableiten will, wo sie eine sehr geringe Geschwindigkeit annehmen, sogleich nieder und machen daher eine häufige Wiederholung der Aufräumung und Vertiefung dieser Gräben nöthig. Endlich aber ist das fremde Wasser auch weit stärkeren Anschwellungen ausgesetzt, als das Sammelwasser in dem Sumpfe, und man ist sonach bei der Vereinigung beider auch noch gezwungen, den Ableitungsgräben diejenigen Profile zu geben, welche der grossen Wassermenge zur Zeit der Anschwellung entsprechen, wodurch die Kosten für Grabenarbeiten ausserordentlich erhöht werden.

Hierdurch begründet sich also die Regel, dass man bei jeder vorzunehmenden Entwässerung, soviel es irgend möglich ist, das fremde Wasser abhalten und es in besonderen Betten vorbeiführen muss. Diese Vorsicht ist im Allgemeinen um so nothwendiger und auch um so leichter zu beobachten, je stärker das Gefälle dieses Wassers in seinem obern Laufe ist. Man giebt dem Flusse oder Bache, den man abhalten will, ein künstliches Bette,

das entweder längs der Anhöhe, welche die Niederung umgiebt, sich hinzieht, oder das man durch die Niederung selbst hindurchführt.

Der erste Fall, in welchem das fremde Wasser an einer Seite des zu entwässernden Terrains bleibt, macht die ganze Anlage einfacher; man umgeht dadurch nicht nur die Theilung, wobei leicht zwei Hauptabzugsgräben von derselben Länge nöthig werden können, die im andern Falle der einzelne nur zu haben braucht; auch werden statt eines Sieles, wenn solche hier angelegt werden müssen, oft deren zwei nöthig. Ausserdem aber verschwinden für das neue künstliche Flussbette, das sich in der Niederung befindet, auch alle Vortheile, welche ein höheres Terrain dabei bietet. Es soll nämlich der Fluss oder Bach keineswegs möglichst tief herabgeführt werden, sondern man soll ihn neben der Niederung so hoch halten, dass er noch mit hinreichendem Gefälle, wodurch ein starkes Anschwellen hier verhindert wird, vorbeiströmen kann. Eine ganz gerade Linie braucht das neue Bette keineswegs zu verfolgen, obgleich eine gar zu grosse Verlängerung und die Bildung von besonders scharfen Krümmungen auch zu vermeiden ist. Man wählt also an dem Abhange, der die Niederung umgiebt, diejenige Linie, auf welcher das beabsichtigte Gefälle am leichtesten darzustellen ist. Alsdann wird das natürliche Bachbette in einer angemessenen Höhe über dem Sumpfe abgeschlossen, und das neue Bette steigt, indem es am Rande der Anhöhe sich hinzieht, allmälig herab, doch erreicht es die Thalsohle erst unterhalb der zu entsumpfenden Gegend. Man braucht dieses neue Bette besonders nur auf der Thalseite mit Deichen zu umgeben, auf der Bergseite können sie vielleicht ganz fehlen, oder sie sind doch nur stellenweise und in geringerer Höhe erforderlich. Trifft es sich aber, dass man tiefe Seitenthäler überschreiten muss, so ist die grössere Tiefe, welche das Bette hier erhält, keineswegs nachtheilig, vielmehr wird sie eine sehr günstige Gelegenheit zur Ablagerung des Geschiebes darbieten. In dieser Beziehung ist auch eine stellenweise grosse Verbreitung des Bettes durchaus nicht ungünstig, denn auch sie wirkt auf die Verminderung der Geschwindigkeit und sonach auf die Reinigung des Wassers hin und verhindert dadurch das Ablagern von Material in den untern Flussstrecken. Wenn sonach

der Boden hier keinen zu grossen Werth hat, so wird man wohlthun, solche Querthäler nur auf der Thalseite abzuschliessen und sie dadurch, wenigstens zur Zeit der Anschwellung der Bäche, in Seen zu verwandeln, wodurch man auch noch den Vortheil erreicht, dass man das Sammelwasser in diesen Thälern, oder die Bäche, die etwa hier fliessen, nicht in die Niederung leiten darf. Damit aber diese neuen Flussbetten ihr Gefälle wirklich dauernd erhalten und sie nicht etwa stellenweise wieder das Bette vertiefen und dadurch in der untern Strecke Mangel an Gefälle entsteht, so ist es besonders von Wichtigkeit, in gewissen Abständen durch sogenannte Steinschwellen das Bette zu sichern. Es sind dieses durchgehende breite Rücken, die aus Steinen möglichst tief und regelmässig aufgepackt und mit recht grossen und lagerhaften Felsblöcken abgepflastert werden. Prony räth, sie bei starkem Gefälle in Abständen von höchstens 2000 Meter (etwa $\frac{1}{4}$ Meile) anzulegen. Vor jeder solchen Schwelle wird sich ein Stau bilden, der die Geschwindigkeit des Wassers mässigt; man kann daher gerade hier ohne Nachtheil auch schärfere Krümmungen im Flussbette anbringen, wenn der Zug der Anhöhe solche nöthig macht. Hiernach ist es besonders wichtig, an den vortretenden Ecken des Ufers, an denen man den Fluss vorbeiführt, diese Schwellen anzubringen, weil dadurch der Angriff gegen den Deich auf der Thalseite, der hier besonders gefährlich wäre, sehr gemässigt wird. Vor den Schwellen wird aber eine starke Verlandung und Erhöhung des Bettes eintreten, wodurch sich zuletzt ein ziemlich gleichmässiges Profil und zwar für dasjenige Gefälle bildet, welches gleich Anfangs durch die Steinschwellen bezeichnet wurde. In demselben Maasse, wie die tiefen und breiten Stellen im neuen Bette verschwinden, worin sich das Geschiebe absetzen könnte, so vermehrt sich hier wieder die Geschwindigkeit, und die fernere Erhöhung des Bettes wird geringer, oder sie hört ganz auf, indem alles Material endlich weiter stromabwärts geführt wird.

In der angedeuteten Anordnung, die sich vorzugsweise auf Gebirgsgegenden bezieht, wo die Flüsse ein starkes Gefälle haben und das Steinmaterial leicht zu beschaffen ist, kommt indessen doch zuweilen die Veranlassung vor, das fremde Wasser in die Niederung hineinzuleiten, und für diesen Fall ist es vortheilhaft,

keine feste Coupirung in dem ursprünglichen Flussbette anzubringen, sondern vielmehr ein Stauwerk, wodurch man beliebig dem Wasser seinen früheren Lauf wieder eröffnen kann. Der Grund, wesshalb man aber zuweilen das fremde Flusswasser wieder eintreten lässt, bezieht sich erstens auf die Colmation, oder man will das Material, welches zur Zeit der Anschwellungen herbeigeführt wird, zur Erhöhung des Bodens der Niederung benutzen und demselben dadurch für die Zukunft eine bessere Abwässerung verschaffen. In diesem Falle erfolgt die Zuleitung nicht dauernd, sondern nur so lange, bis man die Colmationen beendigt hat. Zweitens werden die Bewässerungsanlagen, die, wie schon oben erwähnt worden, nicht leicht fehlen dürfen, sehr bequem durch das Flusswasser gespeist, wenn man dasselbe in einiger Höhe über dem Sumpfe hält; doch auch, wo keine besonderen Vorkehrungen zur Bewässerung getroffen sind, sinkt in der heissen Jahreszeit der Wasserspiegel in der Niederung zuweilen so tief herab, dass die Gräben trocken werden und die Cultur dadurch leidet, oder es an Wasser zum Tränken des Viehes mangelt, und alsdann muss das Flusswasser wieder auf dem ursprünglichen Wege herabgeführt werden; in ähnlicher Art lässt man in den untern Flussmarschen während dieser Zeit auch zuweilen eine Fluth in das Land laufen. Drittens aber ist gerade in der Dürre die Vegetation in den Abzugsgräben ausserordentlich kräftig und letztere füllen sich, sobald die Strömung aufhört, so sehr mit Pflanzen an, dass sie später ihrem Zwecke nicht mehr entsprechen und wegen der vielen Hindernisse ein stärkeres Gefälle annehmen, oder das Wasser im Sumpfe sich auf einer grösseren Höhe erhält. Zur Verhinderung dieser starken Vegetation in den Gräben ist nun gleichfalls das frische Flusswasser, welches im Sommer auch sehr rein zu sein pflegt, sehr wichtig, und man lässt dasselbe daher in dieser Zeit gern durch die Gräben der Niederung fliessen und sichert ihnen dadurch eine dauernde sanfte Strömung.

Die Umleitung des Flusses längs dem Abhange, der die Niederung umgiebt, ist indessen nicht immer ausführbar, denn zuweilen erstreckt sich die Niederung zu weit nach beiden Seiten, als dass man sie auf der einen noch umgehen könnte, und sodann wird von der Darstellung eines neuen Bettes vorlängs des ganzen Sumpfes nur die Rede sein können, wenn es sich um

einen Bach, oder um einen unbedeutenden Fluss handelt. Man ist also häufig gezwungen, den Fluss durch die Niederung hindurchzuführen und alsdann muss auf jeder Seite desselben die zu entwässernde Fläche besonders behandelt werden. An eine gleichmässige Vertheilung des Gefälles ist in diesem Falle nicht mehr zu denken, da es gar zu gefährlich wäre, den Fluss auf erhöhtem Bette zwischen den tiefliegenden cultivirten Flächen hindurchzuführen und man daher mit Rücksicht auf die Gefahr eines Durchbruches lieber auf die obigen Vortheile verzichtet und den Wasserspiegel im Flusse möglichst tief zu erhalten sucht. Bei kleineren Bächen ist diese Besorgniss weniger erheblich und ein Durchbruch leichter zu vermeiden. Man sieht daher in Gebirgsgegenden häufig die seitwärts herabkommenden Bäche auf 10 bis 20 Fuss hohen Erdrücken über dem Wiesengrunde fortfliessen; doch ist dieses Verhältniss gemeinhin nicht künstlich dargestellt, sondern es entstand durch die allmälige Ablagerung des Materials an den Stellen, wo sich ein geringes Gefälle vorfand. Man bemühte sich nur durch Erhöhung der Deiche den Bach immer von den Wiesen abzuhalten, die er sonst mit dem Geschiebe sogleich überdeckt haben würde, und so bildete sich von selbst die wunderbare Erhöhung und gleichmässige Neigung des Bettes. Die kleineren von den Tyroler Alpen herabkommenden Flüsse im nördlichen Italien zeigen eine ähnliche Erscheinung; auch ihre Betten befinden sich bis 20 Fuss über den umgebenden Feldern und sind von innen mit Mauern eingefasst, welche sich gegen die Deiche lehnen; die Chaussee steigt jedesmal stark an, wie man sich einem solchen Flusse nähert, und das grobe Geschiebe, welches das Bette mehr und mehr anfüllt, das man zum Theil durch Ausfahren zu beseitigen sucht, lässt auf eine noch immer zunehmende Erhöhung schliessen. Auch grössere Ströme, wenn sie vor ihrer Mündung weite Niederungen berühren, zeigen, wenn gleich in weit geringerem Maasse, doch ähnliche Erscheinungen, so erhebt sich der Rhein selbst beim niedrigsten Wasserstande vor Vianen (in der Nähe von Utrecht) bedeutend höher, als das eingedeichte Land liegt, auch der Wasserspiegel der Nogat bleibt vor den Elbinger Triften und an der Mündung des Kraffohl-Canals immer höher, als das östliche eingedeichte Ufer. Man hat diese unnatürliche Anspannung künstlich herbeigeführt, indem man

durch die Deichanlagen eine gleichmässige Erhöhung der ganzen Niederung unmöglich machte.

Endlich wäre über die Abschliessung des fremden Wassers auch noch an das zu erinnern, was im vorigen Paragraphen über die Ausmündung der Abzugsgräben in das Meer und über die Abhaltung der hohen Fluthen gesagt ist.

Ein interessantes Beispiel über die Abhaltung des fremden Wassers von dem Abzugsgraben bietet wieder die Linth; der oben erwähnte Canal, der den Wallenstädter See ableitet, nimmt kein fremdes Wasser auf, dieses wird auf beiden Seiten in besonderen Canälen nach dem Züricher See geführt. Der Grund dieser Trennung, welche die Anlage von drei Canälen nöthig machte, ist eines Theils der, dass man den Hauptcanal nicht der Gefahr aussetzen wollte, durch starke Fluthen, die seitwärts hineintreten, in seinen Ufern angegriffen und durch das Material, was sie von den Bergen herabbringen, wieder gesperrt zu werden. Sodann aber führen die Seitencanäle in trockner Jahreszeit auch wenig Wasser ab und sonach senkt sich alsdann in ihnen der Wasserspiegel auch tief unter den des Hauptcanals, und es wird dadurch möglich das Thal als Weideland und Wiese zu benutzen. Man hat aber auch dafür gesorgt, dass die Seitencanäle nicht unmittelbar das Bergwasser aufnehmen, vielmehr wird dieses zunächst durch steinerne Wehre, hier W u h r e genannt, in den natürlichen Vertiefungen aufgestaut und es lässt dabei alles Geschiebe sinken. Sonach erfolgt durch das fremde Wasser eine allmälige Ausgleichung und Erhöhung des Thales, wodurch wieder der Hauptcanal in seinen Ufern gesichert wird. Aber auch die Linth selbst, die als wilder Bergstrom aus dem Canton Glarus herabkommt und das schwerste Geschiebe und dabei sogar Steinblöcke von mehreren Cubikfussen führt, durfte nicht unmittelbar in den Abzugsgraben des Wallenstädter Sees treten; zur Aufnahme dieses Geschiebes bot indessen eben der See wegen seiner grossen Tiefe eine sehr passende Gelegenheit, doch musste man, um eine frühere Ablagerung zu vermeiden, das Flussbette mit starkem Gefälle, also hoch über der Thalsohle bis nach dem See führen.

In vielen Fällen ist die Abschliessung des fremden Wassers das wirksamste Mittel, welches man zur Entwässerung einer Gegend anwenden kann. So haben die vielfachen Versuche, die

man bereits schon beinahe seit 2000 Jahren zur Cultivirung der Pontinischen Sümpfe zwischen Rom und Neapel gemacht hat, wie Prony meint *), allein aus diesem Grunde nicht den erwarteten Erfolg gezeigt und den Zweck nie ganz erreichen lassen. Die Pontinischen Sümpfe erstrecken sich auf $5\frac{1}{2}$ Meilen Länge von Cisterna bis Terracina und sind ziemlich parallel gerichtet gegen die Meeresküste. Von letzterer trennt sie eine doppelte Dünenreihe, die sich südöstlich bis zum Vorgebirge Monte Circeo hinzieht. Der Versuch, diese Dünen zu durchstechen und das Wasser auf dem kürzesten Wege nach dem Meere zu führen, der durch die Anlage des Rio Martino gemacht ist, gab sehr unbedeutende Erfolge, während die Hauptmündung sich in dem immer weiter anwachsenden Ufer ostwärts des genannten Vorgebirges bei Terracina befindet. Die Entstehung dieses Sumpfes, die wohl in das entfernteste Alterthum fällt (denn schon Homer lässt die Circe auf einer niedrigen Insel wohnen), ist daher wohl darin zu suchen, dass das Meer die Mündungen der Flüsse sperrte und letztere nur durch immer weitere Verlängerung ihres Laufes in südöstlicher Richtung einigermaassen einen Ausfluss finden konnten. Dazu kommt noch, dass die Zuflüsse in früherer Zeit von den Gebirgen, die nordöstlich den Sumpf begrenzen, vieles Material herabgeführt und dadurch zum weiteren Vortreten der Küste Veranlassung gegeben haben; doch jetzt ist die Quantität des Materials, welches sie zur Zeit der Anschwellung mit sich führen, sehr unbedeutend, indem sie ihre Zuflüsse auf nackten Felsen sammeln und sonach die Anwendung von Colmationen hier wenig Erfolg verspricht. **) Was ferner die Senkung des Wasserspiegels durch Abzugsgräben betrifft, so ist diese vielfach versucht worden, und wenn man den Erfolg derselben auch keineswegs in Abrede stellen und eben so wenig behaupten kann, dass sie immer mit gehöriger Sorgfalt angelegt und offen erhalten und namentlich von den Pflanzen gereinigt wurden, die in heisser Jahreszeit so kräftig darin vegetiren,

*) *Description hydrographique et historique des marais Pontins par de Prony.* Paris 1822.

**) Dieses ist wenigstens Prony's Meinung; Fossombroni empfiehlt dagegen in dem Aufsatze: *Saggio sulla bonificazione delle Palude Pontini* in der *Nuova Raccolta* Bd. III. auch in diesem Falle die Colmationen als das wirksamste Mittel.

so haben diese wiederholten Versuche dennoch gezeigt, dass dieses Mittel allein nicht zum Ziele führte. Der Vorschlag, den Castelli *) früher machte und den besonders Prony als die wirksamste Abhülfe empfahl, bezog sich daher auf die Ableitung des fremden Wassers, damit dieses sich nicht in die Niederung ergiessen und auf eine ganz unstatthafte Art die Wassermenge vermehren sollte, welche den Abzugsgräben zugewiesen wird.

Die Anlagen, durch welche man das fremde Wasser, bevor es in die Niederung tritt und sich darin verbreitet, abfangen und ableiten kann, sind bereits angedeutet worden, doch ist die Bestimmung des Profiles, welches man den neuen Flussbetten geben soll, ganz unberührt geblieben, und es scheint nöthig, hierüber noch Einiges zu erwähnen. Es würde sich aus dem bekannten Gesetze über die Bewegung des Wassers in Flussbetten, wenn man das Gefälle und die sonstigen Data kennt, die Breite und Tiefe des Profiles leicht herleiten lassen, sobald die Wassermenge bekannt wäre, welche der Fluss zur Zeit der höchsten Anschwellung abführt, aber es ist beinahe unmöglich, hierüber durch directe Messungen zu einem annähernden Resultate zu gelangen, da eines Theils solche Anschwellungen sich selten wiederholen und man nicht leicht bis zu ihrer Wiederkehr die Aufstellung des Projectes aussetzen darf, andern Theils aber pflegen sie auch nur so kurze Zeit anzuhalten und so unerwartet einzutreten, dass die Messung vollständig vorbereitet und die damit beauftragten Personen immer zur Stelle sein müssten, um die Gelegenheit wahrnehmen zu können; aber auch selbst in diesem Falle könnte es noch geschehen, dass die Strömung zu stark wäre, um eine sichere Geschwindigkeitsmessung zu gestatten. Es bleibt sonach nur übrig, aus der Höhe der Anschwellung an einzelnen Stellen, worüber man zuweilen sichere Nachrichten einziehen kann, mit Berücksichtigung der sonstigen Gestalt des Flussprofiles und des Gefälles, einen ziemlich gewagten Schluss auf die Wassermenge zu machen, oder dieselbe aus dem atmosphärischen Niederschlage unmittelbar abzuleiten. Das letzte Verfahren ist jedenfalls einfacher und vielleicht eben so sicher wie

*) *Considerazione sopra la bonificazione delle Palude Pontini. Raccolta.* Bd. III.

das erste, man muss es aber wählen, wenn die nöthigen Data für jenes ganz fehlen, wie dieses nicht selten geschieht. Prony hat diesen Weg zur Bestimmung der Profile für diejenigen Flüsse gewählt, welche sich in die Pontinischen Sümpfe ergiessen; ich will die Hauptpunkte der Untersuchung und das Resultat kurz andeuten.

Da es sich hier um die stärksten Anschwellungen der Flüsse handelt, die nach heftigen Regengüssen eintreten, so kann es natürlich auf die mittleren Niederschläge nicht ankommen, sondern es sind allein die Maxima der täglichen Regenmengen in Betracht zu ziehen. Demnächst wäre auch noch die Frage zu entscheiden, ob bei plötzlich eintretendem Thauwetter die Wassermenge, welche der geschmolzene Schnee in 24 Stunden dem Flusse zuführt, nicht vielleicht noch grösser sein kann; es fehlen indessen hierüber alle Beobachtungen, und da schon die stärksten Regen hier betrachtet werden, so kann man kaum annehmen, dass ein schnelles Schmelzen des Schnees in gleicher Zeit eine noch grössere Wassermenge liefern sollte.

Die Wassermenge, welche während eines besonders heftigen Regens niederfällt, der gewöhnlich doch in seiner grössten Stärke nur wenige Stunden anhält, wird nicht in derselben kurzen Zeit dem Flusse zugeführt, indem das Wasser auf dem Wege dahin verschiedene Hindernisse findet und verschiedene Entfernungen zu durchlaufen hat. Als Beweis dafür, dass ein plötzlicher starker Zufluss sich in einiger Entfernung nicht mehr momentan zu erkennen giebt, sondern während einer viel längeren Zeit vorbeifliesst, führt Prony die Erfahrung an, dass, wenn ein Eimer Wasser nach dem andern in kurzen Zwischenzeiten ausgegossen wird, man alsdann schon in der Entfernung von 100 Meter eine ganz gleichmässige Strömung bemerkt ohne alle periodische Anschwellungen; in ähnlicher Art wird also auch die in kurzer Zeit herabfallende Regenmenge eine längere Dauer der dadurch verursachten Anschwellung des Flusses bewirken, und eben aus diesem Grunde wird sich die in jeder Secunde abgeführte Wassermenge verringern. Die Dauer einer solchen Anschwellung ist gewiss nicht bei allen Flüssen gleich, sondern sie hängt von der Ausdehnung und der Beschaffenheit des Flussgebietes ab; nichts desto

weniger macht Prony die Voraussetzung, dass sie für die Zuflüsse der Pontinischen Sümpfe etwa $2\frac{1}{3}$ Tage oder 200000 Secunden beträgt. Die Höhe des Niederschlages, wodurch eine einzelne Anschwellung verursacht wird, setzt Prony gleich 6 Centimeter oder $2\frac{1}{4}$ Zoll, und er nimmt noch an, dass der dritte Theil davon sich in dem Boden einzieht, so dass dem Flusse nur 4 Centimeter zufliessen. In einzelnen Fällen hat man zwar stärkere Niederschläge beobachtet, allein eines Theils meint Prony, dass man die seltenen Ausnahmen, die vielleicht alle hundert Jahre einmal erwartet werden können, nicht zur Norm der Anlage wählen darf, und demnächst bleibt es auch zweifelhaft, ob ein solcher heftiger Regen sich wirklich über das ganze Flussgebiet verbreitet und er nicht vielmehr nur an einzelnen Stellen so stark ist. Auf solche Art stellt sich endlich das folgende Resultat heraus; die Wassermenge, welche ein Fluss zur Zeit seiner höchsten Anschwellungen in einer Secunde abführt, ist gleich derjenigen Anzahl Cubikmeter, welche man erhält, wenn man die Oberfläche des betreffenden Flussgebietes, in Quadratmeter ausgedrückt, durch 5 Millionen dividirt. In preussischem Maasse giebt dieses für jede Quadratmeile Flussgebiet 360 Cubikfuss Wasser.

Es wäre gewiss nicht zu rechtfertigen, wenn man diese Regel auf alle Fälle ausdehnen wollte, denn sehr wesentliche Differenzen werden sich ergeben

1) aus der Verschiedenheit des Niederschlages, welche nach §. 3 von den klimatischen Verhältnissen und der Beschaffenheit des Bodens abhängig ist.

2) aus der Ausdehnung des Flussgebietes; je grösser dasselbe ist, um so geringer wird die Wassermenge sein, welche die Quadratmeile Bodenfläche zur Zeit der höchsten Anschwellungen liefert, denn theils ist es für den grösseren Landstrich viel unwahrscheinlicher, dass er in seiner ganzen Ausdehnung von dem heftigen Regen getroffen werden sollte, und theils verursacht der längere Weg, den das Wasser zurücklegen muss, bevor es den Fluss erreicht, auch, dass es sich weniger gleichzeitig darin ansammelt, und sonach fällt die in jeder Secunde zuströmende Wassermenge verhältnissmässig gewiss geringer aus.

3) Endlich aber wird in einem flachen aufgeschwemmten Boden derjenige Theil des Niederschlages, der sich in diesen hineinzieht, oder der auf Wiesenflächen und anderen Ebenen, die fast horizontal sind, zurückgehalten wird, verhältnissmässig viel grösser sein und zugleich wird sich das Wasser viel langsamer nach dem Flusse bewegen, als in einer Gebirgsgegend. Beide Ursachen vereinigen sich dahin, die Wassermenge zu vermindern, welche die Ebene für die Anschwellungen des Flusses liefert.

Auf diese Umstände wird sonach jedesmal Rücksicht genommen werden müssen. Fragt man nun aber, ob jene 360 Cubikfuss pro Quadratmeile Flussgebiet einen mittleren Werth oder ein Maximum oder ein Minimum in Betreff der Localverhältnisse darstellen, so ist es aus den oben mitgetheilten Beobachtungen ersichtlich, dass die angenommene Niederschlagshöhe von $2\frac{1}{4}$ Zoll innerhalb derjenigen Zeit, in welcher das Wasser den Fluss erreicht, in vielen Fällen zu geringe bleibt und dass wohl während $2\frac{1}{2}$ Tagen unter allen klimatischen Verhältnissen Europa's zuweilen eine grössere Wassermenge herabfallen möchte. Demnächst scheint auch die Voraussetzung, dass der dritte Theil davon sich in den Boden einzieht, oder wenigstens vorläufig zurückgehalten wird, nicht gehörig gerechtfertigt, da der Boden von der Beschaffenheit sein kann, dass er überhaupt wenig Wasser einsaugt, oder aber er durch unmittelbar vorhergehende Regen schon stark durchnässt gewesen sein kann. Endlich aber ist die Voraussetzung, dass die Regenmenge während $2\frac{1}{2}$ Tagen dem Flusse zuströmt, insofern sehr zweifelhaft, als manche Gebirgsflüsse eine weit kürzere Dauer der Anschwellungen zeigen und einige derselben nach heftigem Regen nur während 24 Stunden das Hochwasser zu führen pflegen. Hiernach dürfte im Allgemeinen die Wassermenge wohl grösser sein, die man zur Zeit der hohen Anschwellungen (wie sie vielleicht in Perioden von wenig Jahren wiederkehren) erwarten muss. Es wird über die Wassermenge, welche grössere Ströme zur Zeit der höchsten Anschwellungen abführen, bei Gelegenheit der Strombauten die Rede sein; hier will ich nur zwei Beispiele anführen, welche beweisen, dass in gebirgigen Gegenden die Annahme, die Prony macht, wirklich sehr bedeutend zu niedrig ist.

Bei Gelegenheit eines Brückenbaues über die Ruhr bei Mühlheim kam es darauf an, die Wassermenge zu kennen, welche zur Zeit der höchsten Anschwellungen hier durchströmte, und die nähere Untersuchung des in den letzten Decennien beobachteten höchsten Wasserstandes ergab, mit Berücksichtigung der Profilweite und des Gefälles, eine Wassermenge von 56000 Cubikfuss in der Secunde, was bei der Ausdehnung des ganzen obern Flussgebietes von 85 Quadratmeilen für 1 Quadratmeile 660 Cubikfuss macht.

Im Domleschger Thale im Canton Graubünden, wo der Rhein ringsum von den Gletschern gespeist wird, hat man bei Gelegenheit der daselbst ausgeführten Correctionsarbeiten auf eine Wassermenge geschlossen, die bis 1100 Cubikmeter oder 35500 Cubikfuss in der Secunde beträgt. Die Ausdehnung des Flussgebietes misst aber nur etwa 25 Meilen, daher treffen auf die einzelne Quadratmeile über 1400 Cubikfuss.

Wenn nun auch der letzte Fall sich auf so eigenthümliche Verhältnisse bezieht, dass er nicht als Norm angenommen werden kann, und der erste es noch zweifelhaft lässt, ob die Geschwindigkeit wirklich so gross war, als man vorausgesetzt hat, da leicht eine Veranlassung zur theilweisen Hemmung des Abflusses eingetreten sein mochte, was sich nicht mehr mit Sicherheit ermitteln liess, so darf man bei der grossen Ausdehnung des Ruhrthales doch eine geringere relative Wassermenge erwarten, und sonach scheint es angemessen, so lange andere Beobachtungen fehlen, Prony's Annahme nur als Minimum zu betrachten. Hiermit stimmt auch ungefähr die Regel überein, wonach man in manchen Theilen des mittleren Deutschlands die Profile von Brücken und Archen bestimmt, wenn keine andern Umstände darüber nähern Aufschluss geben; man setzt nämlich voraus, dass nach Maassgabe der besondern localen Verhältnisse jede Quadratmeile Flussgebiet dem Flusse zur Zeit der höchsten Anschwellung 300 bis 600 Cubikfuss in der Secunde zuführt.

Hat man nun auf eine oder die andere Art annähernd die Wassermenge kennen gelernt, so ist es unter Zugrundelegung der gewöhnlichen Annahmen über die Bewegung des Wassers leicht, das passende Profil zu bestimmen. Wenn indessen bei allen

natürlichen Flüssen sich zwei verschiedene Profile bilden, nämlich eins für den gewöhnlichen niedrigen Wasserstand oder das eigentliche Flussbette und eins für die hohen Fluthen, welches sich von einem Thalrande oder von einem Deiche bis zum andern zu erstrecken pflegt, so scheint es angemessen, dem künstlich gebildeten Flusse auch zwei verschiedene Profile zu geben; man verstärkt dadurch bei kleinem Wasser die Strömung und verhindert Versandungen, und ausserdem ist die Sohle des weiteren Profiles noch als Wiese oder wenigsters als Weidegrund zu benutzen. Durch eine sehr weitläufige Rechnung, die jedoch grossentheils auf sehr willkührlichen Voraussetzungen basirt ist, findet Prony diejenigen Zahlenverhältnisse des doppelten Profiles, welche in Fig. 122 dargestellt sind, nämlich für eine gewisse Maasseinheit

die obere Breite des weiten Profiles . .	45
die untere - - - - . .	39
die obere Breite des engen Profiles . .	15
die untere - - - - . .	9
die Höhe des weiteren und des engeren Profiles	2

die Böschungen sind dabei mit $1\frac{1}{2}$facher Anlage angenommen, und das weitere Profil verhält sich zum engeren wie $4\frac{1}{2}$ zu 1.

Setzt man nun die bekannte Formel voraus, dass

$$c = \varkappa \sqrt{\left(\frac{h}{l} \cdot \frac{q}{p}\right)}$$

wo c die Geschwindigkeit
h das absolute Gefälle
l die Länge des Canales
$\varkappa$ eine gewisse Constante
q den Flächeninhalt und
p den benetzten Umfang des Profiles bedeutet,

und nennt man überdies jene noch zu ermittelnde Einheit x, so findet man

$$q = 108 \,.\, x^2$$
$$p = 47{,}42 \,.\, x$$

und da die Wassermenge oder

$$M = c \,.\, q$$

so findet man endlich

$$x^5 = 0{,}00003765 \,.\, \frac{M^2}{\varkappa^2} \,.\, \frac{l}{h}$$

Wenn man hier wie gewöhnlich die Constante $\varkappa$ gleich 90 setzt, so folgt

$$x^6 = 0{,}00000000465 \,.\, M^2 \frac{l}{h}$$

Für den Fall, dass $M = 1000$ Cubikfuss und $\frac{h}{l} = \frac{1}{2000}$ ist, würde sich ergeben

$$x = 1{,}56$$

also die obere Breite des weiteren Profiles gleich 70 Fuss, die des engeren Profiles $23\frac{1}{2}$ Fuss und die Tiefe jedes Profiles gleich 3 Fuss $1\frac{1}{2}$ Zoll.

Gegen die Angemessenheit dieses von Prony empfohlenen Profiles lässt sich im Allgemeinen zwar nichts erinnern, jedoch wird dasselbe unter gewissen localen Verhältnissen leicht nicht passend bleiben und einer Modification bedürfen. Prony hat übrigens nicht so einfache Rechnungen empfohlen, indem er die viel complicirtere Formel über die Bewegung des Wassers in Flussbetten zum Grunde legt, die schon oben §. 17 angedeutet ist. Die Resultate, zu denen er gelangt, sind indessen ihrem Werthe nach von den angeführten nur wenig unterschieden. In dem erwähnten Werke über die Pontinischen Sümpfe wird noch erzählt, dass bei den Entwässerungen in Burgund diese Bestimmung der Wassermengen und der Profile für die Ableitungsgräben zu sehr brauchbaren Resultaten geführt habe, indem bei hohen Anschwellungen die Profile sich füllen, ohne dass die Deiche überströmt werden.

§. 28.

Abzugsgräben.

Wenn die Vorarbeiten zu dem Resultate geführt haben, dass die zu entwässernde Fläche höher liegt, als der Fluss oder das Meer, in welches man den Abzugsgraben leiten kann, so kommt es nunmehr darauf an, diesen so anzuordnen, dass er mit dem möglichst kleinsten absoluten Gefälle die ganze Wassermenge abzuführen im Stande ist. Geht man von der eben angeführten Formel aus

$$c = \varkappa \sqrt{\left(\frac{h}{l} \cdot \frac{q}{p}\right)}$$

und führt man noch die Bezeichnungen ein

t die mittlere Tiefe,

b die Breite des Profiles und

M die in einer Secunde abgeführte Wassermenge, so ist annähernd

$$p = b \text{ und folglich}$$

$$c = \varkappa \sqrt{\left(\frac{h\,t}{l}\right)}$$

$$\text{und } h = \frac{1}{\varkappa^2} \cdot \frac{M^2 l}{b^2 t^3}$$

Die Aufgabe ist, das absolute Gefälle, oder h möglichst zu mässigen, dieses geschieht

1) indem man M oder die Wassermenge vermindert; hiervon ist im vorigen Paragraphen die Rede gewesen.
2) indem l oder die Länge des Canales verringert wird; auch hierüber ist bereits Einiges angedeutet worden, und es mag hier nur noch darauf aufmerksam gemacht werden, dass nach Ausweis der vorstehenden Formel das absolute Gefälle in demselben Maasse vermindert wird, wie sich die Länge des Canales verkürzt.
3) durch Vergrösserung der Breite des Canales und
4) durch Vergrösserung der Tiefe desselben.

Die beiden letzten Mittel sind in Bezug ihrer Wirksamkeit auch ihres sonstigen Einflusses einander nicht gleich, denn wenn man die Breite des Canales verdoppelt, so vermindert sich das absolute Gefälle auf den vierten Theil, es reducirt sich aber auf den achten Theil, wenn man die mittlere Tiefe verdoppelt. Ausserdem aber wird durch die Vergrösserung der Breite immer eine entsprechende Fläche Landes für die Cultur verloren, was bei der Vermehrung der mittleren Tiefe nicht geschieht; durch letztere erreicht man auch noch den Vortheil, dass der Pflanzenwuchs minder stark zu sein pflegt, als in einem flachen Graben. Es lässt sich indessen die mittlere Tiefe des Grabens nicht willkührlich ausdehnen, und es ergiebt sich auch, dass die vorstehende Formel gewiss nicht mehr richtig ist, sobald die Tiefe einen namhaften Theil der Breite ausmacht. Besonders ist hierbei aber der Umstand zu berücksichtigen, dass der Graben nicht mit senkrechten Mauern eingefasst, sondern in dem natürlichen Boden ausgehoben wird; seine Ufer müssen daher eine gewisse Neigung erhalten, weil sie sonst entweder von selbst einstürzen, oder doch von dem strömenden Wasser leicht angegriffen werden. Bei Ge-

legenheit der Schifffahrtscanäle wird hierüber ausführlicher die Rede sein, es ist aber schon hier zu bemerken, dass man den Canalufern nach der Beschaffenheit des Bodens sowohl über als unter dem Wasser mindestens eine $1\frac{1}{2}$ bis 2fache Anlage geben muss. *) Wenn man nun die Sohle des Canales auch nur etwa sieben- oder doch wenigstens fünfmal so breit als die Tiefe macht, so folgt, dass der grösste Werth, den die mittlere Tiefe erhalten kann, gleich dem zwölften Theile der oberen Breite des Canales ist. Auf diese Art kann man b durch t ausdrücken und braucht also nur eine von diesen Dimensionen als unbekannte Grösse einzuführen.

Kennt man demnächst aus den angestellten Terrainuntersuchungen das absolute Gefälle (h), das der Graben erhalten darf und seine Länge (l), so bleibt noch die Wassermenge (M) zu bestimmen. Wenn letztere nur von dem atmosphärischen Niederschlage herrührt, der unmittelbar in dem Sumpfe niederfällt, so kann man sie aus der Ausdehnung desselben ungefähr herleiten. Man darf aber nicht vergessen, dass der Regen über dem feuchten Terrain häufig viel bedeutender, als in den umherliegenden freieren Gegenden ist und dass andererseits hier wieder die Verdunstung geringer bleibt; die Entwässerungsgräben haben also gewiss mehr als den dritten Theil des jährlichen Niederschlages abzuführen. Dazu kommt aber noch, dass der Sumpf schon in den Monaten April und Mai vollständig trocken gelegt und sonach in dieser Zeit die ganze Wassermenge abgeführt werden muss, die durch den Schneefall hier angesammelt war und welche wegen des Frostes oder auch wegen der höheren Wasserstände im Flusse während des Winters und des ersten Frühjahrs nicht entfernt werden könnte. Die Gräben erhalten daher wenigstens eine solche Profilweite, dass sie während eines Monats den vierten Theil des jährlichen Niederschlages abzuführen im Stande sind. Beträgt die Höhe des letzteren 24 Zoll, so würden also von der Quadrat-

*) Nach dem gewöhnlichen Sprachgebrauche sagt man zweifüssige Dossirung, diese Benennung ist indessen so wenig bezeichnend, dass der Ausdruck Anlage, der in diesem Sinne auch häufig gebraucht wird, wohl den Vorzug verdient; eine zweifache Anlage findet also statt, wenn die horizontale Projection der zweifachen Höhe gleichkommt.

meile 288 Millionen Cubikfuss in einem Monate, oder in der Secunde 110 Cubikfuss durch den Hauptgraben abfliessen müssen. Sobald der Wasserstand in der Niederung höher ist, so vermehrt sich freilich die Capacität des Abzugsgrabens, allein man darf hierauf nicht zu viel rechnen, weil gar leicht auch der Wasserstand im Flusse noch etwas höher sein kann, als er in dieser Jahreszeit durchschnittlich ist und sonach das Gefälle wieder geringer ausfällt.

Um ein Beispiel der Rechnung zu geben, nehme ich an, dass die Ausdehnung der zu entwässernden Niederung eine Quadratmeile beträgt und die Wassermenge eines 6 Zoll hohen Niederschlages in einem Monate abgeführt werden soll; ferner dass der Boden eine $1\frac{1}{2}$fache Anlage für die Ufer erlaubt und das Verhältniss der Breite des Profiles zur mittleren Tiefe wie 12 zu 1 sein soll, und endlich dass das Gefälle $\frac{1}{6000}$ ist, oder es auf die Meile 4 Fuss beträgt. Den Werth der Constante $\varkappa$ findet Eytelwein nach einigen Beobachtungen gleich 90,9, doch möchte dieser Werth vielleicht im Allgemeinen schon zu gross sein, und gewiss ist er es, wenn das Bette nicht mehr ganz rein ist und der Pflanzenwuchs der Bewegung des Wassers wenigstens am Boden hinderlich wird; es sei daher $\varkappa$ gleich 70. Die obige Gleichung giebt

$$b^2 t^3 = \frac{M^2}{\varkappa^2} \cdot \frac{l}{h}$$

also für das gewählte Beispiel

$$b^5 = 12^3 \cdot 6000 \cdot \left(\frac{110}{70}\right)^2$$

daher $b = 30{,}31$.

Die Breite des Grabens im Wasserspiegel beträgt sonach $30\frac{1}{3}$ Fuss, die Sohlenbreite $21\frac{1}{3}$ Fuss, die Tiefe 3 Fuss und das Wasser bewegt sich mit einer Geschwindigkeit von $1\frac{1}{2}$ Fuss in der Secunde.

Diese Geschwindigkeit stellt sich in dem Graben nur zu der Zeit ein, wenn gerade der starke Abfluss stattfindet, in der trockenen Jahreszeit wird sie noch viel geringer werden, so dass man vielleicht kaum die Bewegung des Wassers bemerkt. Ich mache auf diesen Umstand deshalb aufmerksam, weil es ein sehr allgemein verbreitetes Vorurtheil ist, dass zur Bewirkung einer gehörigen Entwässerung das Wasser sich im Abzugsgraben mit grosser Geschwindigkeit bewegen müsse. Dieses ist aber, wenn man kein überflüssiges Gefälle hat, durchaus unrichtig, und eine

sehr starke Strömung zeigt alsdann immer, dass das Abflussprofil zu klein und das Gefälle zu gross ist, oder dass man eine Anordnung gewählt hat, wobei der Wasserspiegel in der Niederung nicht so tief gesenkt wird, als es geschehen könnte.

Bei Bestimmung des Zuges für den Hauptentwässerungsgraben kommen manche Rücksichten in Betracht; derselbe muss wo möglich ungefähr in der Mitte den Sumpf durchschneiden, damit den Nebencanälen ein hinreichendes relatives Gefälle gegeben werden kann, welches durch grosse Verlängerung derselben sich vermindern würde; ferner muss aus dem gleichen Grunde auch der Hauptcanal keine überflüssige Länge haben und sonach möglichst gerade gezogen werden. Von besonderem Einflusse ist hierbei aber immer die Höhenlage des Terrains. Insofern nämlich der Graben die ganze versumpfte Gegend entwässern soll, so muss er niedriger liegen als jeder Theil derselben, und es bestimmt sich daher seine Richtung, wenn man die grösste Vertiefung nach der Länge des Sumpfes verfolgt, oder indem man in passenden Abständen die Querprofile untersucht und die tiefsten Punkte derselben mit einander verbindet. Nach der früher aufgestellten Bedingung darf man indessen nicht alle scharfen Krümmungen verfolgen, die den Canal leicht auf eine nachtheilige Art verlängern könnten, wogegen aber die Einführung sanfter Biegungen nicht nachtheilig ist und für die Erdarbeiten oft eine grosse Erleichterung gewährt. Prony führt bei der Bestimmung dieser Linie eine andere Betrachtung ein, die sehr genau dieselben Resultate giebt. Wenn nämlich ein sehr starker Regen anhaltend niederfällt, so wird der Sumpf sich mit Wasser bedecken und es wird sich darin eine Strömung bilden, die es abführt. Die Richtung nun, welche der Hauptstrom verfolgt, oder diejenige Linie, in welcher das Wasser am stärksten abfliesst, muss für den Abzugsgraben gewählt werden, und es ist klar, dass sie ebensowohl durch die grössere Tiefe bestimmt wird, als auch weite Umwege von selbst darin vermieden werden; diese Linie ist aber dieselbe, die man beim Strombau den Stromstrich nennt.

Diese Regeln dürfen in dem Falle keine Anwendung finden, wenn der Sumpf stellenweise besonders tief liegt und wenn es die Absicht ist, auch diese tiefen Stellen durch blosse Entwässerung (natürliche oder künstliche) trocken zu legen. Selbige würden

nämlich, wenn sie nicht etwa ganz ausser der Richtung fallen, vom Hauptgraben durchschnitten werden und man müsste die ganze Wassermasse in sie hineinleiten. Für diese Vertiefungen ist aber das Sammelwasser des höher liegenden Theiles vom Sumpfe als fremdes Wasser zu betrachten, und man thut also nicht recht, dasselbe gleich herabzustürzen, wodurch man für den ferneren Abfluss das Gefälle verliert. Andererseits aber kann man aus den erwähnten Vertiefungen das Wasser mit einem geringen Gefälle viel leichter entfernen, wenn man durch Umdeichung den Zufluss absperrt und sonach die Wassermenge vermindert. Dieser Fall wird nicht häufig vorkommen, doch giebt es in den Marschen in Holland vielfache Beispiele davon, und einzelne dieser tiefliegenden Flächen, die man dort M e e r e nennt, liegen 10 Fuss und mehr tiefer als die Abzugsgräben der umgebenden Niederungen. Sie werden jedesmal künstlich entwässert; sollte bei einer Entsumpfung die Gelegenheit vorhanden sein, für solche Stellen noch einen natürlichen Abfluss zu bilden, so muss dieses in einem besonderen Abzugsgraben geschehen, der von dem Hauptcanale gleichfalls durch Deiche getrennt ist.

Die Seitengräben, oder die Canäle der zweiten Ordnung folgen dem natürlichen Abhange, den die Niederung von dem Rande aus nach der tiefsten Einsenkung hat, woselbst der Hauptentwässerungsgraben angelegt ist. Gemeinhin erlaubt es die Beschaffenheit des Terrains, ihnen ein stärkeres Gefälle zu geben, als der letztere erhalten darf; man legt sie aber nicht in derjenigen Richtung an, in welcher die Wiesenfläche geneigt ist, und dieses theils deshalb, weil sie alsdann weniger Wasser aufnehmen würden, insofern sie den natürlichen Lauf desselben gar nicht kreuzen, theils aber auch, weil sie durch eine mehr schräge Richtung die Länge des Weges, den das Wasser im Hauptcanale noch verfolgen muss, leicht merklich verkürzen und sie dadurch selbst ein stärkeres relatives Gefälle erhalten. Für den Fall, dass die Wiesenfläche in einer Richtung geneigt ist, welche die des Hauptcanales senkrecht durchschneidet, lässt sich sehr einfach diejenige Richtung ausdrücken, in welcher der Seitencanal das stärkste Gefälle annimmt. Bezeichnet nämlich n die Neigung der Ebene und m das Gefälle des Hauptcanales, so stellt sich das Maximum des relativen Gefälles in dem Seitengraben dar, wenn er mit

dem Hauptcanale einen gewissen Winkel a macht, für welchen man hat

$$tang\ a = \frac{m}{n}$$

Die Entfernung, in welcher man diese Seitengräben von einander anlegt, richtet sich nach dem Nutzen, den das ganze Unternehmen verspricht, und sonach nach den Kosten, die man darauf verwenden kann; im Allgemeinen werden sie aber in eben dieser Beziehung um so weiter von einander entfernt sein, je länger sie sein müssen und je grösser das Profil wird, welches sie erhalten. In den Niederungen an der Rhone haben sie eine Entfernung von 150 bis 300 Ruthen von einander erhalten, in den Maremmen bei Castiglione in Toscana, sowie auch in den Pontinischen Sümpfen, beträgt diese ungefähr 400 Ruthen, und wo sie in den eingedeichten Marschen des nördlichen Deutschlands und in Holland einigermaassen regelmässig vorkommen, liegen sie auch durchschnittlich in Entfernungen von etwa 300 Ruthen.

Bei grösseren Entsumpfungen genügen die Entwässerungscanäle der ersten und zweiten Ordnung noch nicht, und man muss deren noch andere ausführen, welche in die Seitencanäle einmünden und welche mit den Hauptcanälen parallel laufen. Ueber diese ist hier nichts zu bemerken, da sie lediglich nach ökonomischen Rücksichten angeordnet werden und ihre Ausführung in der Regel auch nicht in dem Hauptplane aufgenommen wird, sondern dem Besitzer jedes Grundstücks überlassen bleibt. In vielen Fällen ist es nicht möglich die verschiedenen Ordnungen der Entwässerungsgräben von einander zu unterscheiden; dieses gilt schon von den Hauptgräben und den Seitengräben, indem nach der localen Beschaffenheit oft ein Seitengraben so viele andere Seitengräben aufnimmt, oder wenn eine Anhöhe dazwischen liegt, er auf eine längere Strecke mit dem Hauptgraben parallel geführt wird, so dass er wirklich Hauptentwässerungsgraben ist. Der ganze Unterschied ist aber in keiner Beziehung wesentlich; die Aufgabe besteht immer darin, den Wasserspiegel bis zu einer gewissen, der beabsichtigten Cultur entsprechenden Tiefe unter die Oberfläche des Bodens zu senken; liegt also der Canal beinahe horizontal, wie dieses in der Linie der Hauptcanäle gemeinhin geschieht, so kann man demselben auch kein starkes Gefälle geben, und wenn dennoch durch ihn eine grosse Wassermenge

abgeführt werden soll, so wird es nöthig, ein weites und tiefes Profil zu wählen. Bei den Seitengräben gestattet das Terrain gemeinhin ein stärkeres Gefälle, während die Wassermenge geringer wird, sie brauchen alsdann ein viel kleineres Profil; sobald indessen die Umstände anders sind, so muss man auch ihnen das weitere Profil geben.

Es mag hier zugleich erwähnt werden, dass der Wasserspiegel in den Gräben 1 bis $1\frac{1}{2}$ Fuss unter dem Terrain gehalten werden muss, wenn eine geregelte Grasnutzung stattfinden soll, dass aber die Tiefe mindestens $2\frac{1}{2}$ Fuss betragen muss, wenn man Feldfrüchte bauen will, und dass die Cultur von Obstbäumen eine Senkung des Wasserspiegels von wenigstens 4 Fuss erfordert.

Die Ausführung der Entwässerungsgräben ist wegen der sumpfigen Beschaffenheit des Bodens gemeinhin sehr schwierig, und nicht leicht kann man sie in ihrer vollen Tiefe gleich Anfangs darstellen, wie dieses etwa bei Schifffahrtscanälen geschieht. Man muss also damit den Anfang machen, dass man in der Richtung des Hauptcanales und zwar von unten nach oben diejenigen Erhebungen des Terrains durchsticht, welche vorzugsweise den Abfluss des Wassers hemmen, man bewirkt dadurch sogleich einige Senkung des Wasserspiegels und kann alsdann mit der Grabenarbeit immer tiefer herabgehen, doch oft vergeht eine Reihe von Jahren, bis man den Wasserspiegel so weit gesenkt hat, dass die volle Tiefe dem Graben gegeben werden kann. Zuweilen findet sich eine grosse Erleichterung auch in der starken Strömung, die sich Anfangs in dem Hauptcanale darstellt und welche selbst auf dessen Verbreitung und Vertiefung hinwirkt. So ist der Canal zwischen dem Wallenstädter und Züricher See nur in einzelnen sehr kurzen Strecken ausgegraben worden, weil der Wasserzudrang so stark war, dass man die Hoffnung aufgeben musste, eine längere Zeit hindurch eine Baugrube wasserfrei zu halten. Man bemühte sich also durch Anstellung so vieler Arbeiter, wie darin irgend Platz fanden, möglichst schnell die Tiefe darzustellen. So bildeten sich einzelne Gruben, die nicht nur durch Erddämme, sondern oft auch durch versunkene Baumstämme und grosse Steine von einander getrennt waren. Die Strömung, die sich in ihnen bildete, war indessen stark genug, um selbst zur Entfernung dieser Gegenstände hinzuwirken. Zu diesem Zwecke

wendete man hier auch das Bohrruder an, welches Fig. 123 dargestellt ist. Es ist unten mit Eisen beschlagen und ein verstählter Dorn steht vor demselben vor. Es wird benutzt, indem man es dreht, wozu die lange Handhabe dient, und während der Drehung dringt der Dorn weit voran in die Erde und giebt dadurch die nöthige Haltung, um auf einer bestimmten Stelle die Wirkung hervorzubringen. Die Erddämme wurden hiermit leicht entfernt und ebenso konnte man damit auch um grosse Steine oder Baumstämme die Erde auflockern, welche sogleich der Strom wegspühlte, bis endlich diese Gegenstände so weit frei wurden, dass das Wasser sie entweder von selbst fortriss oder sie sich herausheben liessen.

In andern Niederungen, wo der Boden weicher ist, ist es nicht sowohl der starke Wasserzudrang, welcher die Arbeit erschwert, als vielmehr die geringe Consistenz der Oberfläche. In England stellt man die Arbeiter aus diesem Grunde auf einen aus Brettern gebildeten Rahmen und giebt ihnen sehr lange Spaten, damit sie von diesem Standpunkte aus recht tief graben können. Hierbei ereignet sich häufig noch der sehr ungünstige Umstand, dass der stark durchnässte Boden selbst in sehr flachen Dossirungen nicht steht und sonach die Wände des Canales immer von neuem herausquellen. Es bleibt alsdann nichts übrig, als entweder den Zeitpunkt abzuwarten, bis nach und nach durch die allmälige Senkung des Wasserspiegels das Erdreich so weit ausgetrocknet ist, dass man regelmässige und tiefe Gräben darstellen kann, oder man lässt die Baustellen voll Wasser laufen und bewirkt ihre Vertiefung nicht mehr durch Grabenarbeit, sondern durch Baggerung. Wählt man das letzte Mittel, so bleiben die Dossirungen immer dem Gegendrucke des Wassers ausgesetzt und sie pflegen dadurch weit haltbarer zu werden. Handelt es sich um grössere Anlagen, wo die erste Anschaffung des Inventariums weniger in Betracht kommt als die Erleichterung der Arbeit, so dürften die Kosten in dem letzten Falle sich nicht sehr erhöhen und sie können wohl unter Umständen sogar noch geringer ausfallen.

Die ausgegrabene oder ausgebaggerte Erde findet am einfachsten ihren Platz unmittelbar zur Seite des Grabens, wo sie ausgehoben wurde, und da es sehr wichtig ist, hier ein festes Ufer zu schaffen, damit man den Graben mit Leichtigkeit unter-

suchen und die etwa nöthig werdenden Aufräumungen darin vornehmen kann, so rechtfertigt sich auch in dieser Beziehung diese Anordnung. Andererseits aber wird durch die Beschwerung des äussern Uferrandes die Dossirung leicht herausgedrängt, und es kann geschehen, dass gerade hierdurch eine solche Bewegung veranlasst wird, dass der Graben sich von beiden Seiten wieder ganz zuschiebt. Man muss also, wenn dieses besorgt wird, sehr vorsichtig sein, die ausgebrachte Erde recht gleichmässig und weit zu verbreiten, damit sie an keiner Stelle einen starken Druck verursacht. Doch auch in andern Fällen muss man sich hüten, förmliche Deiche durch diese Erde darzustellen, wodurch ein Abfliessen des Wassers aus dem Sumpfe nach dem Graben verhindert würde, oder wenn sich dieses durch die nöthige Höhenlage der Wege nicht vermeiden lässt, so muss man wenigstens die gehörigen Durchlässe anbringen, um nirgend eine Ansammlung des Wassers zu veranlassen. Diese letzte Regel findet indessen augenscheinlich nur so lange ihre Anwendung, als der Graben noch innerhalb des zu entwässernden Terrains sich befindet; sobald er dieses verlassen hat, so hindert nichts und es ist oft sogar nothwendig, ihn vor jedem Seitenzuflusse sicher zu stellen und zu verhüten, dass er sich nicht in die anliegenden Niederungen ergiesst, die vielleicht auf andere Art entwässert werden.

Bei Ausführung der Abzugsgräben werden die Arbeiter wegen des dauernden Aufenthalts auf dem nassen Boden und wegen des Einathmens der Sumpfluft häufig von Krankheiten und namentlich von Fiebern befallen. Durch gehörige Einleitung der Arbeit und Sorge für die Mannschaft lässt sich indessen dieses grossentheils vermeiden; die Vorsichtsmaassregeln, die Sommariva bei Trockenlegung des Sumpfes von Coquenard in dieser Beziehung anwendete und die er für ähnliche Fälle empfiehlt, sind folgende: 1) man soll die Arbeit in trockener Jahreszeit unternehmen; 2) in das stehende Wasser sobald wie möglich einige Bewegung bringen; 3) dieselben Arbeiter nicht mehrere Tage hindurch beim Graben (was immer das gefährlichste ist) gebrauchen, sondern sie abwechselnd karren lassen und 4) dafür sorgen, dass die Arbeiter auf sumpfigen Stellen nie ausruhen, sondern sie während der Ruhezeiten immer auf höhere Punkte gehen und dort ihre Mahlzeiten einnehmen, dass sie aber während der Nacht sich ganz

aus dem Bereiche des Sumpfes entfernen müssen. Wenn durch Befolgung dieser sehr zweckmässigen Vorschriften auch die eigentliche Arbeitszeit um einige Stunden gekürzt wird, so dürfte diese Vorsicht nicht nur durch das höhere Interesse der Humanität gerechtfertigt werden, sondern auch in ökonomischer Beziehung gewiss nicht unvortheilhaft sein, da eines Theils die Leistungen von kranken Arbeitern sehr geringe ausfallen und man andern Theils die Leute, wenn sie sich durch die angewiesenen Verrichtungen Krankheiten zugezogen haben, doch nicht ohne Unterstützung fortschicken kann. Es ist aber nothwendig, dass diese Sorge für das physische Wohl der Arbeiter von dem aufsichtsführenden Baumeister ausgehen muss, da die Arbeiter selbst ganz allgemein entweder aus Unkenntniss der Gefahr, oder aus Ueberschätzung ihrer Kräfte durch blosse Warnungen nicht vermocht werden, eine Vorsichtsmaassregel anzuwenden, die mit einer Schmälerung ihres Verdienstes oder mit weiteren Gängen oder andern Unbequemlichkeiten verbunden ist.

§. 29.

Colmationen.

Zuweilen liegt der Sumpf, den man entwässern soll, so niedrig, dass die Senkung des Wasserspiegels bis unter seine Oberfläche nicht möglich ist; in diesem Falle finden die Colmationen *) oder die künstlichen Erhöhungen des Bodens ihre Anwendung. Sie kommen aber auch vor, wenn das nöthige Gefälle für den Hauptabzugsgraben zwar geschafft werden kann, wenn aber die ganze Niederung so sehr in einer horizontalen Ebene liegt, dass aus diesem Grunde das Wasser nicht schnell genug in den Gräben sich ansammelt.

Die Colmationen können auf verschiedene Art bewirkt werden; die einfachste, doch zugleich auch die kostbarste Art derselben ist die, dass man den Sand oder die sonstige Bodenart, die man zur Erhöhung des Sumpfes benutzen will, unmittelbar auf denselben aufkarrt. An der untern Lippe sind viele niedrige Wiesen hierdurch erhöht worden, und die Arbeit erleichterte sich daselbst

*) *la Colmata*, die Ausfüllung.

einigermaassen dadurch, dass unmittelbar daneben die höheren sandigen Ufer liegen, so dass der Sand nicht weit zu transportiren war. Gewöhnlich wird aber das Wasser zur Herbeiführung des Sandes und des sonstigen Materials benutzt, und zwar entweder, indem man künstlich die Bäche gegen hohe sandige Ufer führt und sie dadurch zwingt, dieselben anzugreifen und den Sand mit sich zu reissen, wobei man auch noch das Ufer abzustechen und den Sand in den Bach zu werfen pflegt, oder aber man überlässt den Bächen und Flüssen die Zuführung des Materials und bemüht sich nur, dieses möglichst vollständig in denjenigen Stellen niederzuschlagen, die man erhöhen will. Der erste Fall tritt bei der Darstellung der sogenannten Schwemmwiesen oder beim Wiesenflössen ein, und hiervon wird passender bei Gelegenheit der Wiesenwässerungen die Rede sein; der letzte Fall ist aber der wichtigste und derselbe wird vorzugsweise unter der Benennung Colmation verstanden.

Die Quantität der erdigen Stoffe, welche ein Fluss mit sich führt, hängt theils von der Beschaffenheit des Terrains und theils von der Geschwindigkeit der Strömung ab. Es werden sonach nicht alle Flüsse zur Colmation gleich brauchbar sein. Vorzüglich sind es die Gebirgsflüsse und zwar solche, die nicht auf nackten Felsen ihre Quellen sammeln, die sich zu Colmationen eignen, jedoch auch diese nicht dauernd, sondern nur während der Zeit der stärksten Anschwellungen, denn bei trockner Witterung pflegen sie ganz zu versiegen oder doch stellenweise eine so geringe Strömung zu haben, dass daselbst alles Material, was sie führen, sich schon niederschlägt.

Hiernach beschränkt sich die Zeit, während der die Colmation in Thätigkeit sein kann, immer nur auf wenige Tage. Die Anstalten, die hierbei in Anwendung kommen, beziehen sich aber zunächst darauf, dass man den Fluss an diejenige Stelle leitet, wo die Aufhöhung hervorgebracht werden soll; dieses muss in einem regelmässigen Bette und mit möglichst gleichmässigem Gefälle geschehen, damit der Fluss überall seine starke Geschwindigkeit behält und er nicht etwa schon früher das Material fallen lässt. Es darf aber das Flusswasser, welches zur Colmation benutzt wird, nicht durch den Ueberlauf über ein Wehr abgefangen werden, sondern die Abflussöffnung muss sich bis zur Sohle des

Flussbettes erstrecken, und überhaupt darf in dem Bette des Zuleitungscanales keine Erhebung vorkommen, welche immer als Wehr wirken würde. Der Nachtheil eines Wehrs in diesem Falle besteht aber darin, dass dasselbe vor sich einen Stau erzeugt, wodurch das Wasser an Geschwindigkeit verliert und deshalb die erdigen Stoffe fallen lässt. Demnächst aber fängt jede Erhebung in der Sohle auch schon aus einem andern Grunde einen grossen Theil des Materials auf, welches der Fluss mit sich führt. Von diesem Materiale ist nämlich nur ein Theil so fein, dass er in dem Wasser schwebt wie die Thontheilchen und der feinste Sand; der gröbere Sand, sowie Kies und anderes Geschiebe, erhebt sich dagegen nie weit über den Boden, sondern es wird in ähnlicher Art vom Wasser fortgetrieben, wie man die gröberen Sandkörnchen an der Meeresküste sich beim Sturme bewegen sieht; sie rollen auf dem Boden hin, und wo sie einen plötzlichen Widerstand finden, da werden sie schräge aufgeworfen und oft ricochetiren sie in weiten Sprüngen, doch werden sie niemals, dem Staube gleich, von der Luft oder hier vom Wasser getragen. Indem es nun die Absicht ist, so viel festes Material, als irgend möglich, durch die Colmation aufzufangen, so muss der Zuleitungscanal ein recht ebenes Bette erhalten, welches einer solchen Bewegung kein Hinderniss entgegensetzt.

Sodann muss aber das trübe Wasser, wenn es an die zu colmirende Stelle geführt ist, möglichst in Ruhe kommen. Zuweilen begnügt man sich zu diesem letzten Zwecke nur einzelne Hindernisse der Bewegung entgegenzustellen, wie Strauchzäune u. dergl., wodurch die Geschwindigkeit nicht ganz zerstört, sondern nur vermindert wird. Der Erfolg beschränkt sich alsdann aber nur darauf, dass man wohl das gröbere unfruchtbare Geschiebe auffängt, dass aber die feinen im Wasser schwebenden Theilchen, welche in der Regel der Vegetation besonders förderlich sind, fortgeführt werden; doch auch in quantitativer Beziehung ist der Verlust, der auf solche Art entsteht, keineswegs unbedeutend, und sonach ist die andere Methode, wobei das Wasser grosse mit Deichen umgebene Bassins füllt und vollständig geklärt daraus wieder abfliesst, viel wirksamer und zugleich in den spätern Erfolgen viel günstiger. Wird aus diesen Bassins nach einiger Zeit das Wasser abgelassen, oder fliesst es schon während des

Zuflusses aus, so muss dieses immer auf eine Art erfolgen, die gerade derjenigen entgegengesetzt ist, durch welche das Wasser aus dem natürlichen Flussbette hineingeleitet wurde. Beim Austritt aus der Colmation muss nämlich der Abfluss möglichst nahe an dem Wasserspiegel erfolgen und dieses deshalb, um Aufstau zu erzeugen und um die Stoffe, die sich bereits zu Boden gesetzt hatten, nicht wieder in Bewegung zu bringen. Man lässt also hier das Wasser immer über Wehre fliessen, und selbst wenn Grundablässe angebracht werden, die man zur vollständigen Trockenlegung nicht entbehren kann, so dürfen sie nicht durch Schütze geschlossen sein, welche beim Oeffnen eine zu starke Strömung am Boden hervorbringen würden, sondern man bedient sich hier der Versatzbohlen, die eine nach der andern von oben abgehoben werden, jenachdem die Senkung des Wasserspiegels dieses zulässt, wodurch also die untern immer noch die Stelle eines Wehrs versehen, bis endlich der Wasserstand sich im Bassin so sehr vermindert hat, dass aus diesem Grunde schon der Entstehung einer starken Strömung vorgebeugt wird.

Auf solche Art werden also einzelne Flächen oder Felder in der Niederung erhöht und man geht mit diesen Anlagen im Allgemeinen von oben nach unten oder stromabwärts fort, und wo die Erhöhung bereits erfolgt ist, da giebt man dem Flusse, der nunmehr mit gehörigen Ufern eingeschlossen werden kann, einen solchen Lauf, dass er hier alles Geschiebe mit sich führen muss, was er in den untern Colmationen, so lange dieselben noch fortgehen, absetzt. Ist indessen die ganze Niederung zur beabsichtigten Höhe herangewachsen und sind keine Vertiefungen oder Seen mehr darin zurückgeblieben, alsdann kann das Material, welches der Fluss auch ferner mit sich führt, leicht zur Verwilderung seines Bettes in den untern Strecken Veranlassung geben. Jedenfalls muss man aber dafür sorgen, dass es nicht das neue Bette in der Niederung selbst, oder zunächst unterhalb anfüllt, weil sonst der Wasserspiegel sich wieder heben und dadurch zur Versumpfung Veranlassung geben würde. Am zweckmässigsten wird es aber immer sein, durch Deckung der Ufer und durch Bepflanzung derselben die obern Flussstrecken so zu reguliren, dass nicht mehr so viel Material wie früher herabtreibt. Wenn diese letzte Arbeit auch beim Beginne der Entwässerungs-

anlagen ganz unausführbar erscheinen sollte, indem die grossen Kosten der Anlage und Unterhaltung gar keinen unmittelbaren Gewinn versprechen, so ändert die Cultivirung und die Ansiedelung in dem entwässerten und gewöhnlich sehr fruchtbaren Terrain doch so sehr alle Verhältnisse in der Nachbarschaft, dass nunmehr eine Strauch- und Baumpflanzung in den umliegenden Thälern vielleicht ein sehr gewinnreiches Unternehmen wird.

Nach dem, was hier über die Colmationen und früher über die natürlichen Erhöhungen der Flussthäler gesagt worden, könnte man leicht vermuthen, dass künstliche Anlagen zu diesem Zwecke überflüssig sind, indem die Natur schon selbst eben dahin wirkt, und zwar so vollständig, dass die Flüsse, welche durch ausgedehnte Niederungen gehen, darin wirklich alles gröbere Material niederschlagen und selbst in gewissem Grade von den feinen im Wasser schwebenden Stoffen gereinigt werden. An dieser Erhöhung nehmen indessen nur jedesmal diejenigen Flächen des Flussthales Antheil, welche von der starken Strömung unmittelbar getroffen werden, und sonach können die entfernteren Strecken nicht früher sich erhöhen, bis diejenigen, welche in der nächsten und geradesten Richtung des Flusses liegen, so weit angewachsen sind, dass die Strömung des kürzeren Weges unerachtet sie nicht mehr verfolgen kann. Der Vortheil des kürzeren Weges veranlasst aber den Fluss schon vor der vollständigen Erhöhung des Sumpfes, den Umweg wieder zu verlassen, und so ist auf diese Art eine vollständige Entwässerung gar nicht zu erwarten, wenn nicht etwa das Thal sich in der allgemeinen Richtung des Flusses und zwar mit keiner bedeutenden Seitenausdehnung hinzieht. Viel weniger wird aber die Erhöhung des Bodens von selbst erfolgen, wenn an dem unteren Ende eines versumpften Thales von der Seite her ein Fluss oder Bach hineintritt, der vieles Geschiebe führt, der also den natürlichen Abfluss immer von Neuem sperrt. Diese Gründe erklären den Nutzen von künstlichen Anlagen zur Beförderung einer regelmässigen Ablagerung des Materials, den Beweis für die Nothwendigkeit derselben liefert aber die Erfahrung, indem es sich zeigt, dass die natürlichen Wirkungen, die doch schon seit unendlicher Zeit in Thätigkeit sind, den gewünschten Erfolg in vielen Fällen nicht herbeiführen konnten. Es lässt sich freilich nicht leugnen, dass zuweilen, wie z. B. im Thale

des Chiana, der Eingriff durch Menschenhand den Verlauf der natürlichen Aenderungen störte, doch in andern Fällen lässt sich dieses nicht annehmen, und jedenfalls bliebe man dem Zufalle ganz blosgestellt und die Cultur der Thalfläche wäre immer ein sehr unsicheres Unternehmen, wenn man nicht auch hier die Wirkungen des Flusses regeln und sie nach einem gehörigen Plane leiten wollte, um den Vortheil einer bestimmten Benutzung des Bodens zu erreichen. Dass solche Vortheile sich durch die Colmationen wirklich erreichen lassen, lehrt bereits die Erfahrung, doch ist die Anzahl der Beispiele, wo diese Methode angewendet wurde, wegen ihrer Neuheit noch geringe, und kaum genügen sie, um einige allgemeine Regeln daraus abzuleiten. Es wird daher am passendsten sein, wenn das wichtigste Beispiel, nämlich die Trockenlegung des Chiana-Thales, historisch mitgetheilt wird und die Erfahrungen angegeben werden, die dabei gemacht sind.

Das Chiana-Thal, welches sich auf der Grenze zwischen dem Grossherzogthume Toscana und dem Kirchenstaate, zwischen den Städten Arezzo und Orvieto beinahe in der Richtung von Norden nach Süden erstreckt, bildet eine natürliche Verbindung der Flussgebiete des Arno und der Tiber. Die grösste Höhe erreicht dieses Thal gegenwärtig auf der Südseite des Sees von Chiusi, es ist indessen dieser Scheitelpunkt künstlich dargestellt und dieses zeigt nicht nur die Ansicht des Längenprofiles Fig. 125, sondern der Name des nahe beigelegenen Städtchens Chiusi deutet auch sehr deutlich darauf hin. *) Die Trennung zwischen dem Wasser, welches dem Arno und der Tiber zufliesst, war also in früherer Zeit mehr nordwärts zu suchen. Die italienischen Schriftsteller versetzen dieselbe in die Nähe von Fojano und sogar bis Porto di Pilli bei Arezzo. Der Beweis dafür wird aus einer alten Charte entnommen, die Julius von Medici (später Clemens VII.) im Jahre 1551 aufnehmen liess und worin mitten durch den See von Pulciano ein Weg angedeutet ist, der nach der beigeschriebenen Bemerkung früher von Arezzo nach Chiusi führte. **) Nach

*) *la Chiusa*, die Abschliessung.

**) *Charte idrauliche dello stato antico e moderno della valle di Chiana, di Manetti. Fiorenze* 1823. Die kurze Beschreibung, die den schönen Charten beigefügt ist, ist überaus lehrreich und in

einzelnen Andeutungen älterer Schriftsteller hat man sogar der Ansicht Raum gegeben, dass der Arno sich in früherer Zeit bei Arezzo in zwei Arme theilte, von denen der eine bei Florenz vorbei den Weg verfolgte, den er auch heute einnimmt, während der andere durch das Chiana-Thal von Norden nach Süden der Tiber zuströmte und auf solche Art eine schiffbare Verbindung zwischen Florenz und Rom bildete. *) Man muss billig Anstand nehmen, diese Vermuthung als Thatsache gelten zu lassen, auch Prony erklärt sich dagegen, doch war von einem Eingriffe in den natürlichen Lauf des Flusses schon sehr frühe die Rede gewesen. Tacitus **) erzählt, dass man im Senate den Antrag machte, den Clanis (Chiana) von der Tiber abzuschliessen und ihn dem Arno zuzuweisen, um die Anschwellungen der Tiber zu mässigen, dass aber den Bitten der Florentiner Gehör gegeben wurde und damals Alles beim Alten blieb. Nichts desto weniger ist dieser Abschluss in späterer Zeit wirklich zur Ausführung gekommen, wiewohl es unbekannt ist, in welcher Zeit dieses geschah, und so bildete sich bei Chiusi der Scheitelpunkt, von wo ab die Chiana nunmehr auf 6 Meilen Länge nordwärts ihrem natürlichen Gefälle entgegenfliessen musste. Auf dieselbe Art, wie man sich indessen auf der Südseite gegen das Wasser zu schützen suchte, so geschah dieses auch auf der Nordseite; neben dem Mönchskloster am Ausgange des Chiana-Thales bei Arezzo erbaute man nämlich ein 38 Fuss hohes Wehr, und so wurde denn das Thal in solchen Zustand versetzt, dass Dante und Boccaz es erwähnen, um einen ungesunden und fürchterlichen Aufenthalt zu bezeichnen. Unter der Regierung der Medici wurde die Aufmerksamkeit auf diesen unglücklichen Landstrich ernstlich gerichtet; die bereits erwähnte Charte, worin auch die Höhenlage mancher Punkte angegeben ist, sollte zur Entwerfung des Meliorationsplanes dienen. Nach dieser Charte fand sich zwischen Fojano bis gegen das Mönchskloster, Arezzo gegenüber, die Scheitelstrecke; hier war

technischer Beziehung sehr interessant. Fig. 124 ist eine Copie dieser Charte in kleinerem Maassstabe.

*) *Extrait des recherches sur le système hydraulique de l'Italie par de Prony. Annales des ponts et chaussées* 1834. *II. p.* 384.

**) *Annalium liber I.*

stehendes Wasser, wo man kaum eine Bewegung nach der einen oder der andern Seite wahrnehmen konnte. Torricelli, der über die zu wählenden Mittel befragt war, bezeichnete schon die Colmationen als das einzige Auskunftsmittel, was man hier wählen könnte; er meinte, der Boden wäre zu sehr in einem Horizonte aufgewachsen, als dass man durch Abzugsgräben allein ihn trocken legen könnte, er setzt aber hinzu, dass „die Nebenflüsse Goldsand dem Thale zuführen," wodurch er den Segen ausdrücken wollte, den die gehörige Auffangung und Ablagerung desselben in der versumpften Gegend verbreiten würde. Das ganze Unternehmen gerieth indessen ins Stocken, und wenn man auch einzelne Flächen dem Wasser hin und wieder zu entziehen suchte, so wurde doch erst am Schlusse des vergangenen Jahrhunderts unter der Regierung von Peter Leopold durch Fossombroni der zu befolgende Plan bestimmt entwickelt. *) Die früheren Verhältnisse hatten sich damals wesentlich geändert und die Thalsohle war bereits seit 1551 stellenweise um 37 Fuss erhöht worden. Die Bedingung, die Fossombroni sich stellte, war, einen regelmässigen Abfluss in nördlicher Richtung zu bilden und durch Colmationen den Boden so weit zu erhöhen, bis die Chiana oder vielmehr der neue Canal das ganze Thal entwässern könnte; dieser Canal sollte aber ein hinreichendes Gefälle erhalten, um in späterer Zeit, wenn das Material zu solchem Zwecke nicht mehr gebraucht würde, dasselbe weiter stromabwärts bis unter das Wehr am Mönchskloster zu führen, wodurch also dem Entstehen neuer Versumpfungen im Thale vorgebeugt wurde. Unter diesem Gesichtspunkte begann nun die Arbeit auf Kosten der Regierung und die Situations-Charte Fig. 124 und das Profil Fig. 125 auf Taf. XII. zeigen den Zustand im Jahre 1823, wo zwar noch eine Menge Colmationen im Betriebe, aber doch schon die meisten Flächen cultivirt und bebaut waren. Der Grund und Boden, der, wie es scheint, gar keinen Besitzer hatte, wurde Domäne, und eine grosse Menge von Ansiedelungen erfolgte in diesen Gegenden, die früher unbewohnbar gewesen waren. Die Versumpfungen

*) *Memorie idraulico storiche sopra la Val di Chiana*, in der oben erwähnten *Raccolta* 1789 mitgetheilt und 1823 zu Bologna besonders gedruckt.

erstrecken sich aber noch viel weiter südwärts, als die Charte angiebt, und so waren mit Einschluss desjenigen Theiles, der zum Kirchenstaate gehört, etwa 8 preuss. Quadratmeilen culturfähiger Boden zu gewinnen.

Die Colmationen, die hier eingerichtet sind und deren passendste Einrichtung sich erst durch die Erfahrungen herausstellte, die man hier machte, wurden folgendermaassen angeordnet. Man umschloss die zu erhöhenden Flächen einzeln mit Erddeichen, und zwar gab man den letzteren wo möglich gleich die ganze Höhe, die sie zur beabsichtigten Erhebung des Terrains brauchten, das heisst man machte sie etwa $2\frac{1}{2}$ Fuss höher als der Boden werden sollte. Doch würde dieses in den Fällen, wo der Boden noch sehr niedrig war, zu kostbar gewesen sein und die Deiche zu sehr der Gefahr eines Bruches ausgesetzt haben; alsdann musste man sich begnügen, sie Anfangs niedriger zu belassen und sie später zu erhöhen. Sie erhielten eine Kronenbreite von $4\frac{2}{3}$ Fuss und auf jeder Seite eine einfache Anlage oder Dossirungen, die unter 45 Graden geneigt sind. Die Grösse dieser Bassins bestimmte man nach der Breite der Flüsse, welche sie füllen sollten; nimmt man nämlich diese Breite der Flüsse zur Zeit der Anschwellung als Einheit an, so halten die Bassins 100 bis 300 Mal das Quadrat dieses Maasses, nämlich für

den	Esse,	dessen Breite	25½	Ruthen	misst,	das	150fache
-	Foenna	-	31	-	-	-	300 -
-	Salarco	-	18½	-	-	-	200 -
-	Salcheto	-	15	-	-	-	80 -
-	Parce	-	18	-	-	-	100 -

Häufig legt man mehrere dieser Bassins hinter einander an und lässt das Wasser aus dem einen in das andere treten, um die feineren Stoffe, die es in jenem noch nicht abgesetzt hatte, in diesem vollends niederzuschlagen, und wenn die Bassins dem herrschenden Winde sehr ausgesetzt sind, so muss man sie schon durch ähnliche Erddeiche in mehrere kleinere zertheilen, damit nicht etwa der Wellenschlag eine zu starke Bewegung im Wasser hervorbringt.

Der Fluss wird alsdann in einem eingedeichten Canale, der beim Kreuzen von Abzugsgräben immer über den letzteren bleibt, in das Bassin geleitet; er füllt es zur Zeit der Anschwellung sehr

bald an, und das Wasser würde über die Deiche strömen und dieselben zerstören, wenn man nicht für einen bestimmten Abfluss gesorgt hätte. Ein solcher heisst Regulator und wird durch eine Vertiefung im Deiche dargestellt. Damit indessen das überstürzende Wasser auch hier den Deich nicht angreift, so erhält er zunächst eine dreifache Anlage und sodann deckt man diese mit Faschinen aus, welche durch niedrige Flechtzäune darauf befestigt werden. Fig. 126 *a* und *b* zeigt diese Anordnung im Grundrisse und im Querschnitte. Die Krone des Regulators liegt etwa 2 Fuss unter der des Deiches, und wenn der Deich bereits die volle Höhe hat, 6 Zoll über derjenigen Höhe, die das Terrain erhalten soll. Die Länge des Regulators ist im Allgemeinen etwas geringer als die Breite des Flusses, nämlich

für den Esse . .	18½	Ruthen
- - Foenna .	31	-
- - Salarco .	18½	-
- - Salcheto .	12½	-
- - Parce . .	15½	-

Liegen mehrere Bassins hinter einander, so führt der Regulator das Wasser aus dem ersten in das zweite, und in diesem Falle pflegt man ihn auch wohl zu theilen, damit eine leichtere und gleichmässigere Füllung erfolgt; wenn er aber den Ausfluss aus dem letzten Bassin bildet, so kann man eine solche Theilung nicht vornehmen, ohne zwei verschiedene Abzugsgräben darzustellen und in den Ufern zu unterhalten, was die Kosten gewöhnlich bedeutend vermehren würde. Demnächst wird auch in denjenigen Bassins, wo die sehr freie Lage einen starken Wellenschlag befürchten lässt, der Wasserstand dadurch etwas gesenkt, dass man den Regulatoren eine grössere Länge giebt, und um deren Wirkung nicht zu schwächen die Bassins erweitert, doch werden diese, wie bereits erwähnt worden, durch Zwischendeiche in mehrere Unterabtheilungen zerlegt.

Sobald das Hochwasser vorüber ist und das eingeschlossene Wasser während der nächsten 48 Stunden alle Stoffe, die es enthielt, vollständig fallen gelassen hat, so muss dasselbe wieder entfernt werden und zwar theils deshalb, damit bei der nächsten Anschwellung der Strom sich mit einem um so stärkeren Gefälle hineinstürzen kann, theils aber auch, um eine Ansammlung von

stehendem Wasser zu vermeiden und die Deiche keinem dauernden Angriffe auszusetzen. Zu diesem Zwecke dienen kleine Schützvorrichtungen von etwa 2 Fuss Weite, welche, wie bereits erwähnt worden, durch Versatzbohlen geschlossen sind, die man eine nach der andern mittelst einer kleinen Winde heben kann. An jedem einzelnen Bassin befindet sich an einer passenden Stelle diese Vorrichtung und zwar münden sie immer seitwärts und nie in ein folgendes Bassin. Sie werden aber nur aus Holz und sehr leicht erbaut, wie es ihre vorübergehende Benutzung mit sich bringt; und sobald die Colmation an einer Stelle beendigt ist, so werden dieselben Pfähle und Bretter wieder zu gleichem Zwecke an einem andern Bassin aufgestellt.

Endlich will ich hier noch nach Manetti das Gefälle, die Dauer der Anschwellungen und den Gehalt an erdigen Stoffen für die bereits erwähnten fünf Flüsse mittheilen; der Gehalt an Erde ist dabei in Procenten ausgedrückt, wobei wohl das Volum den Maassstab abgiebt. Ueber die Wassermenge und die Anzahl der jährlichen Anschwellungen fehlen die Angaben.

	Gefälle	Dauer der Anschwellung	Gehalt an Erde.
Esse	$\frac{1}{2010}$	3 Tage	3 Procent
Foenna	$\frac{1}{1707}$	3 „	5 „
Salarco	$\frac{1}{396}$	1 „	9 „
Salcheto	$\frac{1}{604}$	1 „	5 „
Parce	$\frac{1}{494}$	2 „	3 „

Auch in der neuesten Zeit ist in dem Grossherzogthume Toscana ein ähnliches Unternehmen mit gleich günstigem Erfolge zur Ausführung gekommen, dieses ist die Trockenlegung der sogenannten Maremmen in der Umgegend von Grosseto. Der Fluss Ombrone, der in der Nähe des Chiana-Thales entspringt und auf einem sehr viel kürzeren Wege das Meer gewinnt, scheint durch das viele Material, welches er herabführt und in der untern Strecke seines Laufes ablagert, die Veranlassung zur Entstehung des Sumpfes gegeben zu haben. Indem er seine Mündung immer weiter ausdehnte und er sich dabei südwärts wandte, so blieb im Norden eine Niederung offen, die weder von selbst gehörig

aufwachsen konnte, noch auch zur Entwässerung hinreichendes Gefälle behielt. Die kleinen Flüsse, welche sich in sie ergiessen, führen nur reines Wasser und sind daher zu Colmationen nicht brauchbar, dagegen liefert der Ombrone hierzu reichlich das erforderliche Material. Fossombroni schätzte den Gehalt an erdigen Stoffen in ihm sogar auf 20 Procent. So wurden denn oberhalb und unterhalb Grosseto Abzugsgräben eröffnet und durch diese das trübe Wasser dem Sumpfe zugeführt, wodurch in den Jahren 1833 bis 1838 schon die Hälfte der früher ganz uncultivirbaren Fläche oder ungefähr $\frac{1}{2}$ Quadratmeile für den Ackerbau gewonnen war. Man scheint hierbei die beim Chiana-Thale befolgte Methode insofern abgeändert zu haben, dass man nicht kleinere Colmationsbassins darstellte, sondern mehr durch Coupirung der tiefen Wasserrinnen und durch Zäunungen die Strömung zu mässigen suchte und auf solche Art den Niederschlag beförderte. Es musste indessen hierbei noch das Eintreten des Meeres in die Entwässerungsgräben verhindert werden, und so wurde denn besonders an der Mündung des Hauptentwässerungscanales bei Castigliono ein grosses Siel mit drei Paar Stemmthoren erbaut, welches bei niedrigem Stande der See das Wasser abführt, ohne das Eindringen des Hochwassers von aussen zu gestatten. *)

§. 30.

Sickergräben.

Zuweilen leiden einzelne Felder oder Flächen an einer starken Ansammlung von Wasser, welches jedoch den Boden so langsam durchdringt, dass man durch Anlage eines Hauptgrabens den Zweck nur für die nächsten Umgebungen erreicht, während schon in der Entfernung vielleicht von einer oder zwei Ruthen der Boden so durchnässt bleibt, dass er für die beabsichtigte Benutzungsart

*) In dem grossen Werke: *Memorie sul bonificamento delle Maremme Toscane. Firenze* 1838, findet man mehrere Charten der Umgegend und manche interessante Abbildungen von einzelnen Anlagen, die beigefügte Beschreibung ist indessen mehr in statistischer, als in hydrotechnischer Beziehung von Wichtigkeit. Demnächst ist hierbei noch ein Aufsatz in Förster's Allgemeiner Bauzeitung, Jahrgang 1838, S. 165 ff. zu erwähnen.

nicht brauchbar ist. Wollte man daher durch offene Abzugsgräben die Entwässerung hier dennoch bewirken, so wäre man gezwungen, solche dicht neben einander anzulegen und man würde einen sehr grossen Theil der ganzen Fläche der Cultur entziehen. Das Mittel, welches man unter diesen Umständen wählt, ist die Anlage von Sickergräben (*Drains*), d. h. man bildet in solcher Tiefe, dass die jedesmalige Benutzungsart der Fläche dadurch nicht gestört wird, ein vollständiges Netz von kleinen Canälen, in die sich die feinen Wasseradern überall leicht einziehen können und darin entweder unmittelbar nach einer natürlichen Senkung im Boden, oder nach einem offenen tiefen Graben geführt werden. Indem diese Sickergräben, wenn sie ihren Zweck erfüllen sollen, sehr nahe neben einander liegen und daher ihre Gesammtlänge jedesmal sehr gross ausfällt, so ist man natürlich darauf bedacht gewesen, sie möglichst einfach und wohlfeil darzustellen, aber eben aus diesem Grunde haben sie auch nicht die nöthige Festigkeit, um einer starken Strömung widerstehen zu können; es rechtfertigt sich dadurch die Regel, dass man ihnen weder grosse Wassermengen zuführt, noch auch, dass sie selbst ein starkes Gefälle erhalten.

Zur Trockenlegung der Felder hat man dieses Mittel in England schon seit langer Zeit mit grossem Vortheile benutzt, und zwar hat dazu wohl vorzugsweise der strenge Thonboden, der sich häufig daselbst vorfindet, Veranlassung gegeben, indem er das Einziehen des Wassers und daher die gehörige und schnelle Austrocknung der Oberfläche verhindert. Anderntheils aber ist gewiss die Vervollkommnung des Ackerbaues und der hohe Preis des Getraides in England auch als Grund anzusehen, woher man vorzugsweise und beinahe ausschliesslich dort solche kostbare Anlagen machte. Wenn in Deutschland ähnliche Terrainverhältnisse eintreten, so sucht man ihnen dadurch zu begegnen, dass man zwischen den Beeten recht tiefe Furchen aufpflügt und diese so legt, dass sie Entwässerungsgräben für das Feld bilden. Es entsteht dadurch aber der bereits erwähnte Nachtheil, dass ein bedeutender Theil der Fläche, nämlich die Furchen und die Ränder derselben, keine Frucht tragen, und bei starker Ansammlung des Wassers im Frühjahr geschieht es auch, dass der Boden aufweicht, sich ebnet und grosse Strecken oft so lange nass bleiben,

dass sie nicht bestellt werden können, oder dass die bereits früher gekeimte Wintersaat erstirbt. Dieses ist eben der Fall, wo die Sickergräben ihren Nutzen zeigen; sie saugen das Wasser ein und leiten es ab, ohne dass man durch tiefe Furchen für die offene Abführung desselben sorgen darf. Eine Hauptbedingung ist dabei aber diese, dass sie nicht ganz von dem strengen Thonboden umgeben sein dürfen, weil dadurch jede Verbindung abgeschlossen werden würde. Die Oberfläche des Ackers ist durch die nach und nach hinzugekommene Düngung und durch die Auflockerung durch den Pflug in eine Beschaffenheit versetzt worden, dass die Feuchtigkeit sich wohl hindurchziehen kann. Wenn indessen diese Erdschicht nur eben so hoch ist, als die Pflugschaar einschneidet, so darf man nicht gleich darunter die Sickergräben anbringen, indem sie sonst bei jeder Bearbeitung des Feldes beschädigt würden. Man muss also noch etwa 2 Fuss in den Unterboden herabgehen, und wenn sich hier der strenge Boden wieder vorfindet, so dürfen die Gräben nicht damit überschüttet werden, sondern man bedeckt sie mit einem leichteren Boden, durch welchen das Wasser hindurchdringen kann. Gewöhnlich aber ist die Decke des Canales nicht so sicher, dass sie einem starken Drucke widersteht, und dieses namentlich, wenn das Strauch oder Stroh verfault ist; deshalb eignet sich auch Sand oder Kies nicht zur Ueberschüttung, man muss vielmehr dazu einen leichten Lehmboden anwenden, der sich selbst trägt, ohne den schmalen Canal von oben zu drücken und ohne das Durchsickern des Wassers zu verhindern.

Was im Allgemeinen die Anordnung dieser Sickergräben betrifft, so ist zu bemerken, dass sie nach der Beschaffenheit des Bodens in 1 bis 3 Ruthen Entfernung von einander angebracht werden; ferner dass sie mindestens 2½ Fuss tief unter der Oberfläche des Ackers liegen müssen, damit sie weder vom Pfluge berührt werden, noch auch Pferde oder Ochsen selbst bei nassem Boden eintreten oder durch Auftreten ihre Decke beschädigen können. Sodann ist es noch von Wichtigkeit, dass sie nie mit starkem Gefälle angelegt werden, wodurch sie leicht einer zu heftigen Strömung ausgesetzt würden; wenn also der Boden eine starke Neigung hat, so zieht man sie nicht in der Richtung dieser Neigung, sondern sehr schräge dagegen, so dass sie nur

ein geringes Gefälle erhalten. Man erreicht dadurch auch noch den Vortheil, dass sie um so sicherer die Wasseradern aufnehmen, die sich im Allgemeinen doch in der Richtung der stärksten Neigung herabziehen. Endlich ist noch darauf zu sehen, dass ihre Ausmündung nicht leicht verstopft werden kann; lässt man sie ohne weitere Vorsicht in einer Wiese auslaufen, so ist der besonders üppige Graswuchs an dieser Stelle Veranlassung, dass das Vieh sich hier vorzugsweise gern aufhält und den Sickergraben eintritt. Auch pflegen manche Sträuche und besonders die Esche ihre Wurzeln weit hineinzuschlagen und dadurch ihn zu stopfen. Besser ist es also, wenn man ihre Mündungen unter Steinhaufen austreten lässt, um indessen durch solche die Wiese nicht zu sehr zu verderben, leitet man immer mehrere Gräben zusammen.

Was die Darstellung der Sickergräben betrifft, so wählte man dazu früher solche Methoden, dass nicht sowohl offene Canäle, als vielmehr sehr poröse Füllungen gebildet wurden; man versah daher den undurchdringlichen Boden mit einzelnen Streifen wasserleitender Schichten und ahmte dabei oft sehr genau der Natur nach, indem man hierzu Kies- und Steinschüttungen wählte. Da jedoch beim Ueberdecken mit Erde und beim Feststampfen derselben ein Theil der Zwischenräume zwischen den Steinen schon verschüttet wurde, so musste der Sickergraben immer ungefähr einen Fuss weit und hoch werden, damit er mit Sicherheit wirksam blieb. Man füllte aber auch den Graben mit Strauch an, welches in derselben Art beschüttet wurde, und interessant ist die Thatsache, die Arthur Young erzählt, dass in der Grafschaft Sussex beim Ausgraben einer alten Eichenwurzel, die zu einem 200jährigen Baume gehörte, unter derselben ein solcher Sickergraben angetroffen wurde, der mit Ellernstrauch gefüllt war. Dieses Strauch hatte sich seiner Form nach so gut erhalten, dass man es deutlich erkannte, sogar einzelne Blätter fanden sich noch darin vor, sobald man es aber herausnahm und es trocken wurde, zerfiel es sogleich in Staub. Andere Beobachtungen haben auch gezeigt, dass die Reiser nur etwa während der ersten $1\frac{1}{2}$ Jahre so viel Festigkeit behalten, dass sie dem Erddrucke einigermaassen Widerstand leisten können, später sind sie gänzlich verrottet, aber alsdann muss die Erddecke darüber sich schon so fest zusammen-

gezogen haben, dass sie sich selbst hält und jener Unterstützung gar nicht mehr bedarf. Statt nun das Strauch lose in den Graben zu legen, hat man es auch in Seile zusammengeflochten, wodurch die Ausfüllung regelmässiger wurde, und endlich hat man, wo das Strauch zu theuer ist, es auch durch Stroh ersetzt, das man auf besonderen Maschinen, ähnlich denen, welche in Seilspinnereien gebraucht werden, zu Seilen von der Dicke eines Armes zusammendrehte, und hierbei trat noch für den Landwirth der Vortheil ein, dass dieses Stroh sich noch besser spinnen liess, wenn es vorher als Streu benutzt war. Das Verfahren bei der Anlage solcher Sickergräben besteht nun darin, dass man die Gräben in der nöthigen Tiefe mit etwa 5 Zoll Sohlenbreite und mit möglichst steilen Dossirungen ausgräbt. Es dienen hierzu besonders lange und passend geformte Spaten oder Hacken, und oft hat man durch Pflügen vorher die fruchtbare Ackererde seitwärts geworfen und dadurch einen Theil der Grabenarbeit erspart. Auf die Sohle dieser Gräben bringt man regelmässig die Strohseile ein und sorgt dafür, dass in den Stössen die Enden sich gehörig überdecken; alsdann aber füllt man die passende Erdart darüber und stampft dieselbe gehörig an, sobald der Graben so hoch gefüllt ist, als der Pflug später einschneidet. Die Erfahrung hat gelehrt, dass solche Sickergräben etwa ein halbes Jahrhundert hindurch ganz sicher ihren Zweck erfüllen, und wenn es sich zeigt, dass sie nicht mehr ziehen, so sind immer nur stellenweise Verstopfungen eingetreten, die vielleicht schon durch Unachtsamkeit bei der ersten Anlage veranlasst wurden.

Wenn man die zuerst erwähnte Ausfüllung mit Steinen anbringt, so müssen die Steine wenigstens einige Zolle im Durchmesser halten, auch von der anhängenden Erde vor dem Gebrauche gehörig gereinigt werden. Man schüttet aber die Füllerde nicht unmittelbar darauf, sondern bedeckt sie zunächst mit einer Lage Strauch, oder Binsen oder Stroh, und zuweilen auch nur mit umgekehrtem Rasen.

In neuerer Zeit giebt man jedoch solchen Sickergräben den Vorzug, welche nicht gefüllt sind, sondern freie Canäle bilden. Ihre Darstellung kann auf vielfache Art erfolgen, und zunächst mag die erwähnt werden, wobei gar kein fremdes Material angewendet wird. Man lässt ein Stück Holz von 10 bis 12 Fuss

Länge recht genau abrunden und es etwas conisch bearbeiten, so dass es an der hintern Seite 5 Zoll und an der vordern 6 Zoll im Durchmesser hat; an dieser Seite wird ein Haken eingeschlagen und daran eine Leine befestigt, womit man es vorwärts ziehen kann. Man legt es so vorbereitet auf die Sohle des Grabens und bestreut es zunächst mit Sand, damit der feste Boden nicht zu stark daran haftet; alsdann bringt man eine dünne Lage recht steifen Thon auf, der den Sand festhält und zugleich eine feste innere Fläche des künstlichen Erdgewölbes bildet. Man tritt diese Lage gehörig an und dasselbe geschieht mit allen einzelnen Schichten der folgenden Aufschüttung, so dass man also unmittelbar eine so feste Decke darstellt, wie sich solche sonst nur im Verlaufe eines Jahres bilden würde. Endlich zieht man das Stück Holz etwa 2 Fuss weit vor und setzt die Arbeit auf solche Art immer weiter fort, indem man, um einen bessern Verband hervorzubringen, die Ausfüllung nicht auf einmal in der ganzen Höhe vornimmt, sondern sie während der Arbeit immer über der ganzen Länge des Holzkernes allmälig ansteigen lässt.

Sehr einfach ist auch das Verfahren, das man in Lancashire anwendet, wobei nämlich der Graben einige Zolle über seiner Sohle mit schmalen Banketen versehen wird, auf welche man Torfstücke von 9 Zoll Höhe legt, welche sonach die Decke des Canales bilden, doch möchte es wohl sicherer sein, sich hierbei flacher Steine zu bedienen, wie Fig. 127 zeigt. Um jedoch einer Verschüttung des Canales durch die Fugen zwischen den Steinen vorzubeugen, muss darüber noch eine grobe Kiesschüttung oder eine Strohlage angebracht werden, die man oft noch mit Rasen bedeckt.

Viel genauer lässt die erwähnte Construction sich ausführen, wenn man statt der natürlichen flachen Steine Ziegel oder andere besonders zu diesem Zwecke gebrannte Steine benutzt und man kann alsdann auch leicht die Seitenwände des Canales mit solchen einfassen.

Eine andere Anwendungsart der Steine zeigt Fig. 128 und 129, wobei gleichfalls die Kiesschüttung und deren Ueberdeckung erforderlich ist, um das Hineinfallen der Erde zu verhindern.

Bei Anwendung des Strauches zur Darstellung freier Canäle wird die Fig. 130 dargestellte Methode besonders gerühmt. Man

schneidet kleine Stöckchen von 15 bis 18 Zoll Länge und lehnt sie abwechselnd an die eine und die andere Wand des Grabens, so dass sie sich in der Mitte kreuzen und sich hier unmittelbar berühren. Alsdann füllt man den nach oben geöffneten prismatischen Raum mit längerem Strauche aus und breitet darüber noch einige Zolle hoch Stroh, um ein Durchfallen der darüber geschütteten Erde zu verhindern. Das untere dreiseitige Prisma bildet alsdann den Abzugscanal. *)

Die Anwendung der Sickergräben beschränkt sich indessen keineswegs allein auf landwirthschaftliche Zwecke, sondern sie ist genau unter denselben Umständen, wie hier, auch in andern Fällen mit vielem Nutzen zur Ausführung gebracht. Namentlich gehört dahin die Trockenlegung des Planums von Chausseen. Auch für diesen Fall finden sich die Beispiele ihrer Anwendung vorzugsweise in England, wiewohl sie auch in Deutschland keineswegs unbekannt sind; man vermeidet es jedoch hier sehr sorgfältig, die Strassen in tiefe Durchstiche zu verlegen, wo gewiss das Bedürfniss solcher Abzüge am grössten wäre, indem die Quellen aus den unmittelbar daneben befindlichen Anhöhen leicht in das Planum treten und alsdann Veranlassung geben, dass die Steine der Packlage in dem weichen Grunde versinken und der Schlamm von unten heraufdringt. Doch auch das Regenwasser, welches auf die Strasse fällt, kann bei einem recht strengen Untergrunde schon denselben Erfolg herbeiführen, und jedenfalls muss man wohl dafür sorgen, dass das Wasser, welches sich an der Sohle des Steinbettes ansammelt, in geringen Entfernungen immer Gelegenheit findet, unter dem Banket hindurch nach dem Seitengraben zu entweichen. In England werden nun an allen solchen Stellen, wo der Untergrund nicht ein schnelles Einziehen des Wassers mit Sicherheit erwarten lässt, wieder Sickercanäle angelegt und dieselben ziehen sich nicht nur unter beiden Rändern des Steinbettes fort, sondern es laufen in Entfernungen von 100 Yards oder 24 Ruthen auch immer Abzweigungen gleichmässig aus, die sich in der Mittellinie der Versteinung treffen; und zwar sind diese Zweiggräben nicht senkrecht gegen die ersten

*) Das Vorstehende ist grossentheils aus der Abhandlung über das Austrocknen der Sümpfe von John Johnston entlehnt.

gezogen, sondern sie entfernen sich hiervon unter einem Winkel von 30 bis 45 Graden nach derjenigen Richtung, welche dem Gefälle der Strasse entgegengekehrt ist. Auf solche Art werden also auch diejenigen Wasseradern, welche das Steinbette der Länge nach verfolgen, aufgefangen und in die Sickercanäle an den Seiten geführt, von wo das Wasser wieder auf ähnliche Art in die Seitengräben tritt. Hierbei muss aber noch bemerkt werden, dass man noch durch eine besonders dichte Steinpackung unterhalb der Zweiggräben dafür sorgt, dass das Wasser sich nicht darüber fortbewegen kann, sondern in sie hineintreten muss.

Die Sickergräben unter den Strassen braucht man natürlich nicht so tief zu senken, wie es bei denen der Fall ist, die zur Entwässerung eines Ackers dienen; dagegen müssen sie aber, um der Erschütterung und dem Drucke gehörig Widerstand zu leisten, auch viel solider erbaut sein und es darf namentlich bei ihnen kein anderes als Steinmaterial angewendet werden. Gewöhnlich bildet man sie, indem unter dem zugerichteten Bette für die Packlage noch Gräben von 8 bis 12 Zoll Tiefe und eben so grosser Sohlenbreite ausgehoben werden, die man demnächst mit grob zerschlagenen Steinen anfüllt. Wo aber die Besorgniss eintritt, dass der Zudrang des Wassers stark werden und die Zwischenräume zwischen der Steinschüttung es nicht gehörig abführen möchten, da bildet man auch hier einen freien Canal, und zwar geschieht dieses entweder, wie Fig. 131 zeigt, indem flache Ziegel oder Fliesen auf den Boden gelegt und mit einer Art von Forststeinen überdeckt werden, doch wählt man statt der letzten mitunter auch gusseiserne Rinnen. Die in Fig. 132 dargestellte Construction bezieht sich nur auf die Anwendung gewöhnlicher Ziegel und in Fig. 133 ist ähnlich, wie schon oben erwähnt, der Canal dachförmig mit Bruchsteinen überdeckt, doch hat man auch noch Bodenplatten hier angewendet, um das Versinken der aufrecht gestellten Steine zu verhindern. *)

Endlich sind die Sickergräben auch noch von grosser Wichtigkeit, um Erddossirungen, in welchen Wasser hervordringt, vor dem Einstürzen zu sichern. Das Verfahren ist hierbei ungefähr dasselbe, wie es bei Gelegenheit der stark geneigten Ackerflächen

*) *Public works of great Britain.* London 1838. *Division III.*

angedeutet ist; wenn aber förmliche Quellen den Boden durchziehen, deren Mündung vielleicht nicht gehörig geöffnet ist und welche daher die Erddossirung aufweichen, so muss man wieder durch Bohrungen dem Wasser einen leichteren Ausweg zu verschaffen suchen. Besonders nöthig wird diese Vorsicht, wenn man einen tiefen Durchstich darstellt und dabei eine Menge Quellen und Wasseradern eröffnet, und selbst wenn man in solchem Falle Futtermauern erbaut, so bleibt es immer noch rathsam, durch Anlage von Abzugscanälen das Wasser aus der Hinterfüllung zu entfernen, wodurch sonst der Druck sehr bedeutend vermehrt werden kann. Um ein Beispiel hiervon anzuführen, erwähne ich des Durchstiches bei Blisworth auf der London-Birminghamer Eisenbahnlinie. Man musste im Ganzen über 50 Fuss tief das Planum einschneiden, und der obere Theil des Bodens bestand aus einem jüngeren Kalke, während man unter diesem auf etwa 25 Fuss Tiefe den zu Tertiärformationen gehörigen Klay durchstach. Letzterer durfte von der Feuchtigkeit, die hinter der Futtermauer sich herabzuziehen drohte, nicht getroffen werden, weil sonst wegen des grossen Druckes der darauf liegenden Felsmasse die Wände nicht mehr gehalten werden konnten. Es wurde also hinter der Futtermauer ein fester Lehmschlag ausgeführt, der die Sohle und die innere Wand des Sickergrabens bilden sollte. Dieser Graben erhielt eine Breite von 2 Fuss und wurde mit geschlagenen Steinen ausgefüllt, die sämmtlich so gross waren, dass sie durch einen Ring von $1\frac{1}{2}$ Zoll Durchmesser nicht hindurchfielen; man gab ihm aber das starke Gefälle von nahe 5 Zoll auf den Fuss, und alle 20 Fuss, wo sich gerade die tiefsten Stellen in seiner Sohle befinden, führt eine Rinne das Wasser aus ihm durch die Futtermauer hindurch.

§. 31.
Bewässerungsanlagen.

Die Bewässerung der Ländereien kann auf zweierlei Art erfolgen, nämlich entweder durch Ueberschwemmung, oder durch Ueberrieselung. Die erstere tritt vorzugsweise beim Getraidebau ein, doch wendet man sie auch häufig bei Wiesen zur Beförderung des Graswuchses an, während die letztere sich

allein auf Wiesen beschränkt. Nach der ersten Methode wird in der geeigneten Jahreszeit und oft wiederholentlich das Feld ganz unter Wasser gesetzt und es bleibt einige Tage hindurch damit bedeckt, wobei theils eine sehr starke Durchnässung des Bodens erfolgt, theils aber auch die erdigen Theilchen, welche im Wasser noch schwebten, sich niederschlagen und dadurch zur Befruchtung wesentlich beitragen. Bei der Ueberrieselung wird dagegen über die Wiesenfläche, möglichst gleichmässig verbreitet, eine kräftige Strömung geführt, die jedoch so niedrig ist, dass sie keineswegs den Rasen bedeckt, sondern dass die feinen Grasblättchen überall über das Wasser hervorragen und man letzteres nur eben dazwischen durchschimmern sieht.

Dass in beiden Fällen auch ganz reines Wasser schon von ausserordentlichem Nutzen ist, kann man nicht bezweifeln, da dieses immer als ein Regen wirkt, der gerade in der passendsten Zeit eintritt; wenn das Wasser aber nicht ganz rein ist, sondern einigen Schlamm mit sich führt, so ist es für die Ueberschwemmung gewiss um so nützlicher und etwas Aehnliches dürfte wohl auch für die Ueberrieselung stattfinden, obwohl man häufig das Gegentheil behauptet. Eine sehr starke Ablagerung erdiger Stoffe ist im letzten Falle freilich insofern nicht passend, als dadurch die künstlich eingerichtete Wiesenfläche leicht so unregelmässig sich erhöht, dass das Bewässerungssystem bald gestört wird, dagegen bemerkt man wirklich bei diesen Wiesen, auch wenn das Wasser noch so rein zu sein scheint, mit der Zeit ein Aufwachsen des Bodens, und sonach ist es, übereinstimmend mit den sonstigen Erfahrungen, wohl wahrscheinlich, dass auch hier die feinen und kaum merkbaren Erdtheilchen einen wesentlichen Einfluss auf die Vermehrung des Ertrages ausüben. Von welcher Art die im Wasser schwebenden Erdtheilchen sind und ob sie für die beabsichtigte Cultur vortheilhaft oder vielleicht nachtheilig sein werden, muss man jedesmal, wo nicht schon directe Erfahrungen vorliegen, näher untersuchen, damit man sich nicht etwa über die Verbesserung des Ackers zu sehr täuscht, oder man ihn wohl gar durch das darüber geleitete Wasser verdirbt. Bélidor *) erzählt ein Beispiel des letzten Falles, welches wohl der Beachtung werth

*) *Architecture hydraulique. Vol. IV. p.* 476.

ist, wenn es auch in den Details über die Beschaffenheit des Wassers nicht ganz klar ist. Es wurde nämlich das Wasser aus dem Flusse Aigues, der ohnfern Orange sich in die Rhone ergiesst, auf eine dürre Weide bei Rochegarde geleitet, wo nur wenig und schlechtes Heu wuchs. Der Erfolg der Bewässerung war der, dass sogar der bisherige schwache Graswuchs ganz aufhörte, und man fand den Grund dieser Erscheinung darin, dass sich aus dem Wasser, wo es zur Ruhe kam, eine weisse Erde niederschlug, und dieser Absatz, der sonst der Kreide ähnlich war, zerstörte die Vegetation. Es mag dabei bemerkt werden, dass das Flüsschen Aigues in dem Lias und besonders in dem Oolithenkalke der Juragruppen seine Quellen sammelt.

Die Bewässerungsanstalten zeichnen sich im Allgemeinen vor allen sonstigen hydrotechnischen Anlagen durch eine grosse Einfachheit aus; sie bestehen hauptsächlich nur in kleinen Gräben und niedrigen Verwallungen, und die Stauwerke oder Schütze, die man zuweilen dabei benutzt, sind eben wegen der geringen Dimensionen wieder sehr einfache Werke. Doch die grosse Anzahl und weite Ausdehnung solcher Anlagen, die alle eine fortdauernde Aufmerksamkeit und bei entstehenden Unregelmässigkeiten eine schleunige Abhülfe erfordern, erschweren häufig in sehr hohem Grade das Gelingen eines Unternehmens dieser Art. Der Landmann, der von der Bewässerung den Nutzen zieht, muss grösstentheils selbst alle zugehörigen Anlagen controliren und in gutem Stande erhalten und er darf nur in dem Falle einen Vortheil davon erwarten, wenn er dieses mit Liebhaberei und recht häufig thut. Ein einzelner Spatenstich, der zur rechten Zeit gemacht wird, kann leicht grossen Unordnungen vorbeugen, und so muss denn diese Arbeit ganz in den Kreis der gewöhnlichen landwirthschaftlichen Verrichtungen übergehen, wenn sie ohne grosse baare Auslagen besorgt werden soll. Dieses geschieht indessen nicht leicht gleich nach der ersten Anlage und alsdann verursachen die eingetretenen Versäumnisse in der Unterhaltung kostbare Reparaturen, wodurch zuweilen der ganze Gewinn verloren geht und das Unternehmen nutzlos erscheint. Erst wenn nach und nach durch längere Gewohnheit diese Arbeit das Fremdartige verloren hat und alle dahin gehörigen Anlagen mit einer Sorgfalt unterhalten werden, wie sie in den meisten landwirthschaftlichen

Verrichtungen nicht erfordert wird, alsdann giebt sich der Nutzen des Unternehmens zu erkennen und es drängt sich die Ueberzeugung auf, dass unter den verschiedenen Vortheilen, die man von dem Wasser ziehen kann, welches in den Bächen und Flüssen abgeführt wird, doch keiner so wichtig ist, als der, welcher aus der Anwendung zu Bewässerungen entspringt.

Was die Bewässerung durch Ueberschwemmung betrifft, so war diese Methode schon in dem frühesten Alterthume bekannt, indem ein Theil von Egypten seit dem Anfange der historischen Zeit ebenso bewässert wurde, wie dieses noch heute geschieht, nur scheinen die Anlagen, die man künstlich für diesen Zweck dargestellt hat, heut zu Tage nicht mehr sämmtlich in Wirksamkeit zu sein. Die natürlichen Anschwellungen des Nils setzen diese Bewässerungsanstalten in Thätigkeit; sie bestehen in einer Menge von Coupirungen, welche in dem westlichen Arme des Nils, oder dem sogenannten Josephs-Canale (*Bahr Jousef*) angelegt sind. Dass dieser Arm künstlich ausgegraben sei, wie der Name es vermuthen lässt, darf man wohl bezweifeln, aber dennoch ist eine solche Stromspaltung, wie diese, vielleicht ohne ihres Gleichen; auf 70 bis 80 Meilen Länge von Dendyra bis Cairo fliessen nämlich die beiden Arme vielfach unter sich verbunden, doch immer in getrennten Betten in einem Abstande von 1 bis 2 Meilen parallel mit einander fort, und man muss wohl vermuthen, dass diese Spaltung, welche für das Bewässerungssystem so wesentlich ist, durch Kunst vervollständigt und gesichert wurde. Der westliche Arm, der nur etwa 300 Fuss breit ist, während der eigentliche Nil oder der östliche Arm über 2000 Fuss Breite hat, heisst von Tharout es Sherif abwärts der Joseph-Canal, und von hier ab bis unterhalb Cairo, also auf dem Wege durch drei Breitengrade zieht er sich ohne Unterbrechung fort und dient zum Bewässern des Landstriches, der zwischen ihm und dem eigentlichen Nil liegt. Jenseits des Nils konnte natürlich diese Bewässerung nicht ausgedehnt werden, doch verbieten sich dergleichen Anlagen daselbst auch schon aus dem Grunde, weil der Fuss der arabischen Bergkette hier grossentheils das Stromufer bildet; auf der westlichen Seite des Josephs-Canales erheben sich gleichfalls bald die hohen Sandhügel, die von der Libyschen Bergkette herabgeweht sind, welche letztere auch nicht fern ist.

Sonach ist das eigentliche Flussthal Mittel-Egyptens auf den fruchtbaren Strich zwischen beiden erwähnten Flussarmen beschränkt, und gerade dem Bewässerungssysteme verdankt derselbe seine Fruchtbarkeit. Das Terrain liegt hier aber so hoch, dass es durch die natürlichen Anschwellungen des Nils nicht regelmässig inundirt werden kann, und noch weniger würde das Wasser, wenn es auch hoch genug anstiege, daselbst zum Stillstande kommen und den befruchtenden Schlick, den es enthält, fallen lassen. Zu diesem Zwecke wurden nun die vielfachen Durchdämmungen des Joseph-Canales ausgeführt und in der gehörigen Entfernung von denselben die Verbindungen mit dem Nil eröffnet. Vor jedem solchen Damme staut das Wasser bis zu derjenigen Höhe auf, welche der Wasserspiegel des Nils an der Einmündung des nächst oberhalb belegenen Verbindungscanales erreicht, also nach Maassgabe des Gefälles, das der Nil auf die Strecke hat, steigt es um mehrere Fuss höher, als die natürliche Anschwellung des Stromes hier erreicht. So bilden sich treppenweise die Bewässerungsbassins hinter einander und vielfach werden die künstlichen Dämme durchstochen oder durchbrochen, dass sich nach und nach die grosse Wassermenge verliert, die hier aufgesammelt war, und sobald sie abgeflossen ist, so ist der Boden nicht nur durchnässt und gedüngt, sondern überhaupt so vorbereitet, dass die Saat sogleich ohne Weiteres ausgestreut werden kann.

Das Steigen des Nils beginnt bald nach dem Sommersolstitium, also in den ersten Tagen des Julius; am stärksten erfolgt es im Anfange oder der Mitte des Augusts; Mitte September hat das Wasser die grösste Höhe, etwa 25 Fuss über dem kleinen Wasser, erreicht. Im October zeigt sich schon ein merkliches Fallen, November und December wird dieses am stärksten, doch immer viel geringer als das Steigen war, und es dauert auch ferner ganz regelmässig und langsam fort; und immer tiefer sinkt der Wasserspiegel, bis wieder im Anfange Juli die neue Anschwellung eintritt. Im October durchsticht man schon die Dämme und eröffnet dadurch dem Wasser den Abfluss, worauf auch sogleich die Aussaat erfolgt.

Von dem Josephs-Canale tritt etwa 12 Meilen oberhalb Cairo durch ein enges Thal in der Libyschen Bergkette ein Arm in die acht Meilen lange und stellenweise eben so breite fruchtbare

Ebene el Fajoum, an deren nordwestlicher Seite sich der Mörissee hinzieht. Diese ganze Ebene wird auf dieselbe Art, wie der Landstrich zwischen beiden Nilarmen, künstlich inundirt und sogar in einen zusammenhängenden See verwandelt, so dass die Communication gänzlich aufhört. Nach Herodot's Erzählung floss das Wasser aber nicht auf demselben Wege, auf dem es eingelassen wird, wieder zurück, sondern es ergoss sich durch einen künstlich eröffneten nördlichen Abfluss nach Nieder-Egypten und diente dazu, auch hier die künstlichen Bewässerungen hervorzubringen. Die neueren Untersuchungen haben den letzten Punkt nicht bestätigt, und ein solcher nördlicher Abfluss ist gegenwärtig nicht mehr in Wirksamkeit, sondern vielmehr verschwindet das eingetretene Wasser nur durch Verdunstung.

In Nieder-Egypten endlich, oder dem Nil-Delta, wo das Gefälle zur Zeit des Hochwassers nur etwa $\frac{1}{10000}$ beträgt, wird das Wasser zwar auch noch durch Erddämme angespannt und dadurch so hoch gehoben, dass es einen Theil der Ländereien bedeckt, doch bleiben die höherliegenden Striche davon gewöhnlich frei und sie können daher nur durch Schöpfmaschinen bewässert werden. *)

In der neuern Zeit ist das System der Bewässerung durch Ueberschwemmung am meisten im nördlichen Italien ausgebildet, und das Wasser, welches die von dem Südabhange der Alpen herabkommenden Flüsse führen, wird zu diesem Zwecke so vollständig benutzt, dass man im Sommer, während die Bewässerungen vorgenommen werden, auch nicht einen Tropfen Wasser in den Flussbetten bemerkt. Das Terrain zeichnet sich hier durch seine auffallende horizontale Lage aus, der geringe Abhang, der sich im Allgemeinen nach dem Po zu erkennen giebt, ist kaum bemerkbar, und selbst die Felder sind so vollkommen eben, dass man ausser den künstlichen Erddämmen nicht die geringste Erhebung bemerkt. Diese Gestaltung der Oberfläche ist grossentheils durch die gleichmässige Ablagerung des Materials, welches die Flüsse herbeiführten, zunächst veranlasst worden, gewiss aber haben die künstlichen Ueberschwemmungen auch viel

*) Ritter's Erdkunde. I. Afrika.

zur Entfernung der kleineren Unregelmässigkeiten beigetragen, indem man solche entweder durch Abgraben beseitigte, um jedes einzelne Feld gleich vortheilhaft benutzen zu können, theils aber ebnet das Wasser auch selbst die Fläche, die es wiederholentlich bedeckt; es senken sich die Niederschläge nicht nur vorzugsweise in den Vertiefungen, sondern die Erhebungen, die vielleicht zunächst über Wasser treffen, werden beim Wellenschlage angegriffen und somit verschwinden sie nach wenig Jahren. Diese Ebene ist nun mit zahlreichen Gräben durchschnitten, welche, der allgemeinen Neigung des Terrains folgend, sich von Norden nach Süden hinziehen, und auf beiden Seiten von niedrigen Erddeichen eingeschlossen, die einzelnen Felder begrenzen. Jedes Feld ist ringum mit einem solchen Deiche eingefasst und ein kleines Schütz von einigen Quadratfuss Fläche, das zwischen steinernen Griessäulen und auf einer Steinschwelle angebracht ist, giebt Gelegenheit, auf der obern Seite das Wasser aus dem Graben einzulassen; sobald aber dieses Schütz geöffnet wird, schliesst man ein anderes, das den Graben dicht darunter sperrt, damit alles Wasser, welches dieser abführt, in das zu inundirende Feld treten muss. Der Zufluss dauert so lange, bis das ganze Feld, wenn es nicht gleich einen Theil des Wassers verschlucken würde, 3 bis 6 Zoll hoch damit bedeckt werden könnte; alsdann schliesst man das Schütz wieder, welches das Wasser zuführte und bewässert auf gleiche Art ein anderes Feld. Nach kurzer Zeit hat sich alles Wasser in den Boden eingezogen und die Getraidesaaten wachsen üppig empor, bis nach dem allgemeinen Culturplane vielleicht nach einer oder zwei Wochen wieder eine neue Ueberschwemmung gegeben wird, bis das Getraide zur Reife kommt. Häufig findet man an den Feldern auch noch ein zweites Schütz an der untern Seite angebracht, welches indessen nur nach starkem und anhaltendem Regen geöffnet wird.

Die erwähnten Gräben werden nun durch Zuleitungscanäle gespeist, die von jenen Flüssen aus sich am Fusse der Anhöhe auf der obern Seite der Ebene hinziehen; ein Wehr schliesst jedesmal dicht unter der Mündung eines solchen Canales das ganze Flussbette, und so kommt es, dass dieses Bette nur das höhere Wasser abführt. Die gleichmässige Vertheilung des Wassers aus einem Flusse über die ganze damit zu inundirende Fläche

erfordert es, dass alle Gräben, die aus demselben Canale gespeist werden, jedesmal eine gleiche Wassermenge erhalten; es kann freilich nicht fehlen, dass das Quantum zur Zeit der Dürre geringer ist, als nach einem starken Regen, aber keineswegs darf ein Graben viel Wasser erhalten, während der andere wenig bekommt. Dieser letzte Umstand wird als erste Bedingung betrachtet und man bemüht sich für jede Wassermenge, die der Hauptcanal gerade führt, eine gleichmässige Vertheilung unter alle Zuleitungsgräben darzustellen. Man darf daher in jedes Feld nach Maassgabe der Grösse desselben den Graben nur längere oder kürzere Zeit hindurch einfliessen lassen, um den angemessenen Theil des Wassers ihm wirklich zuzuführen. Zu diesem Zwecke strömt das Wasser durch gleich weite Röhren aus dem Canale in die Gräben und diese Röhren sind so gelegt, dass sie beim kleinsten Wasserstande im Canale sämmtlich einem gleichen Wasserdrucke ausgesetzt sind. Der kleinste Wasserstand ist aber deshalb als Norm angenommen, weil gerade während desselben es auf die gleichmässige Vertheilung am meisten ankommt.

Dieses sind im Allgemeinen die Principien der Bewässerung in der Lombardei; der ganze Verband, der zu einer Bewässerung gehört, steht unter der Controle eines selbst gewählten Aufsichtspersonals, welches nicht nur die Inundationen regulirt und zu diesem Zwecke alle Schützen unter Verschluss hat, sondern auch über die gute Erhaltung aller Werke wacht. Die Sorgfalt, womit diese Anlagen aber im Stande erhalten werden, ist dem Reisenden überraschend, und das, was oben in dieser Beziehung von den Bewässerungsanlagen im Allgemeinen gesagt ist, bestätigt sich hier vollkommen. Es muss hierbei noch erwähnt werden, dass einzelne Gräben, die grössere Flächen inundiren sollen, auch durch mehr als eine Röhre gespeist werden, und es versteht sich von selbst, dass nach Maassgabe der Anzahl der Röhren, die gerade geöffnet sind, auch die Zeit, während welcher die Einströmung in ein Feld erfolgt, um so kürzer ist. Man überzeugt sich leicht, dass durch die Verschiedenheit im Gefälle des Canales und durch die Länge der Gräben, welche auch einen Theil des Wassers einsaugen und verdunsten, die Vertheilung nicht mehr in aller Schärfe richtig bleiben kann; nichts desto weniger sind die angeführten Principien immer noch die passendsten und die

einfachsten, die man wählen konnte, und eben wegen ihrer Einfachheit entfernen sie am sichersten jede Willkühr.

Es kommt noch darauf an, einige Data über die Wassermenge mitzutheilen, welche zur Bewässerung benutzt wird. G. Goury *) führt an, dass im Piemontesischen 343 Liter in der Secunde 130 bis 140 Hectaren fruchtbares Land bewässern, das heisst also für die ganze Zeit, während welcher die Bewässerung dauert, muss man durchschnittlich für jede Hectare 11,4 Wasserzoll rechnen, oder jeder preussische Morgen braucht in der Secunde 0,021 Cubikfuss Wasser. Sandiger Boden verlangt das Doppelte, doch wenn man auf thonigem Untergrunde nur Wiesen bilden will, so braucht man nach Goury nur die Hälfte.

Auch in Frankreich kommen mehrfach ähnliche Bewässerungsanlagen vor; in der Provence rechnet man auf jede Hectare $7\frac{1}{4}$ Wasserzoll oder auf den Morgen 0,013 Cubikfuss, und dabei wird gewöhnlich alle Monate nur einmal jedes Feld bewässert. In andern Gegenden Frankreichs bewässert man vom März bis Juni wöchentlich einmal, und zwar giebt man, wo das Wasser reichlich vorhanden ist, jedesmal so viel davon, dass es 3 Zoll hoch das Land bedeckt. Die Kosten belaufen sich für die jährliche Bewässerung in den verschiedenen Theilen Frankreichs zwischen 23 und 40 Francs, durchschnittlich aber 30 Francs für die Hectare, oder für den Morgen beinahe 2 Thaler. **)

Endlich muss hier noch erwähnt werden, dass die Bewässerung zuweilen, wie bei den untern Rhone-Niederungen, noch zu einem ganz besondern Zwecke ausgeführt wird. Der Boden, welcher nämlich aus dem Meere aufgewachsen ist, ist sehr stark mit Salz durchzogen, und wenn darauf eine Austrocknung durch Verdunstung erfolgt, so zieht sich das mit Salztheilchen gefüllte Wasser in die Höhe, und indem es in die Luft tritt, efflorescirt das Salz an der Oberfläche und tödtet die jungen Saaten. Man bedeckt also den Boden vor der Aussaat mit dem süssen Rhonewasser und nachdem dieses das Salz aufgelöst hat, wird es

*) *Appendice des Souvenirs polytechnique.* Paris 1828. *pag.* 45. Die Rechnung, die Goury weiter giebt, stimmt hiermit nicht ganz, doch scheint darin ein Fehler zu liegen.

**) *Annales des ponts et chaussées.* 1833. *II. p.* 291 ff.

abgelassen und dieselbe Operation wiederholt sich mehrmals. Ausserdem bestreut man die Felder noch mit Schilf, nachdem die Aussaat geschehen ist, um das Austrocknen und somit die starke Ansammlung von Salz zu verhindern; dieses Schilf dient aber für die Folge wieder zur Düngung. *)

Was die Bewässerung durch Ueberrieselung betrifft, so ist dieselbe für den Hydrotecten von geringerer Bedeutung, indem sie sich immer nur auf einzelne Wiesenflächen bezieht; die betreffenden Anlagen sind daher gemeinhin auch so wenig umfassend und wichtig, dass sie kaum als zur Wasserbaukunst gehörig betrachtet werden können. In der Regel werden sie von dem Grundbesitzer selbst nach dem Augenmaasse und nach blosser Schätzung ausgeführt, woher denn auch in den Schriften, die hierüber handeln, keine bestimmten Erfahrungssätze angeführt werden, sondern die Beurtheilung des passendsten Gefälles der nöthigen Wassermenge und dergleichen nur von einer dunkeln Schätzung, oder dem sogenannten praktischen Blicke abhängig gemacht wird. Nichts desto weniger will ich die wichtigsten Methoden, die zum Theil sehr sinnreich ausgedacht sind und oft mit grosser Geschicklichkeit angewendet werden, der Vollständigkeit wegen hier kurz berühren.

Es darf kaum erwähnt werden, dass man die Wiesenwässerung in keiner grösseren Höhe kann beginnen lassen, als wo man im Stande ist das Wasser noch hinzuleiten. Zuweilen kommt es wohl vor, dass durch Schöpfräder, auch wohl durch andere Schöpfmaschinen, das Wasser künstlich noch etwas höher gehoben wird, doch ist der gewöhnlichste Fall immer dieser, dass der Bach, der in der Thalsohle fliesst, an einer passenden Stelle aufgestaut und in Seitengräben mit sehr geringem Gefälle möglichst hoch am Ufer fortgeführt wird. Wenn ein solcher Graben auf eine grössere Länge die Wiese an der Thalseite bewässern soll und er sonach eine bedeutende Quantität Wasser zuführt, so darf man dasselbe nicht unmittelbar über sein Ufer auf die Wiese treten lassen, weil dadurch zu leicht tiefe Einrisse entstehen würden. Man versieht ihn also an beiden Seiten mit höheren Ufern und legt in der Entfernung von 2 oder 3 Fuss an der Thalseite mit

*) *Annales des ponts et chaussées*, 1832. *I. p.* 127.

ihm parallel den Ueberrieselungsgraben an, der nur einen Spatenstich breit und tief gemacht wird und der durch eben solche Verbindungsgräben im Abstande von etwa 2 Ruthen durch ihn gespeist wird. Diese Verbindungsgräben lassen sich nun leicht durch ein Stückchen Rasen oder einen Spahn so weit verengen, oder andererseits durch einige Stiche so viel erweitern, dass sie gleichmässig dem Ueberrieselungsgraben das Wasser zuführen. Aus letzteren, die mit keinem höheren Ufer versehen sind, fliesst das Wasser überall auf den Rasen über und die Gleichmässigkeit in der Verbreitung desselben lässt sich auf die einfachste Art erreichen, indem man mit dem Spaten in der Hand täglich die Anlage begeht und wo es Noth thut die feinen Rinnen erweitert oder sperrt. Es kann jedoch nicht fehlen, dass wegen der Unebenheit der Oberfläche sich bald eine Unregelmässigkeit einstellen muss und das Wasser sich an einzelnen Stellen stärker sammelt als an andern; man muss daher bald wieder in einem zweiten Ueberrieselungsgraben, der ganz horizontal geführt ist, das Wasser sammeln und es von diesem aus aufs Neue möglichst gleichmässig verbreitet auf die unterhalb gelegene Wiesenfläche treten lassen. So lässt man in Abständen von 1 bis 5 Ruthen den Abhang mit horizontalen kleinen Gräben durchschneiden, und in jedem derselben sammelt man immer das Wasser und verbreitet es aufs Neue, um alle Unregelmässigkeiten, die man doch nicht vermeiden kann, recht bald wieder zu entfernen. Indem man alle einzelnen Ueberrieselungsgräben häufig begeht und alle bemerkten Unordnungen gleich beseitigt, so vertheilt sich das Wasser mit einer überraschenden Gleichförmigkeit über die ganze Fläche und es wächst das Gras überall üppig empor. Man findet solche einfache Anlagen sehr häufig im westlichen Deutschlande, wo das stärkere Gefälle der Bäche es erlaubt, sie hoch am Wiesenrande hin zu führen. Auf die Neigung der Wiesenfläche scheint es aber wenig anzukommen, und die Grenze wäre nur diese, dass sich ein Rasen noch eben von selbst erzeugt.

Zuweilen trifft es sich aber, dass das Thal gar zu unregelmässig gestaltet ist, als dass man es mit den horizontalen Furchen überziehen und überall einen kräftigen Rasen erzeugen kann. Dieses ist der Fall, wenn die Ufer stellenweise sehr steil sind und ein bald tiefes und bald flaches und breites Bachbette sich

eingeschnitten hat, das überdies auch noch sehr veränderlich ist und daher den gewonnenen Rasen immer von Neuem zerstört. Wenn in solchem Falle der Boden aus reinem Sande besteht, wo gerade die angedeuteten Uebelstände sich am stärksten zu zeigen pflegen, so tritt die Gelegenheit zur Anlage von Schwemmwiesen ein, wie solche an der Ems und Lippe und in andern sandigen Gegenden des nordwestlichen Deutschlands nicht selten vorkommen. Eine vollständig dargestellte Schwemmwiese zeigt dieselbe Ueberrieselung, wie sie eben beschrieben wurde, aber das Wesentlichste dabei ist eben ihre Darstellung oder das sogenannte Wiesenflössen. Wollte man nämlich durch Abgraben der sandigen Ufer die tiefen Löcher ausfüllen und theils dem Bache selbst ein regelmässig geneigtes und gerades Bette geben, theils aber auch den Wiesengrund auf beiden Seiten von dem steilen Abhange bis zu diesem Bette sanft neigen, so würden die Kosten leicht unverhältnissmässig gross ausfallen. Man führt also künstlich dieselben Umstände herbei, wodurch die Thäler von Flüssen und Bächen sich zuweilen selbst ebnen und erhöhen, wenn keine andern Kräfte diesem Erfolge entgegenwirken. Der Anfang geschieht damit, dass der Bach oberhalb der zu corrigirenden Stelle stark angespannt wird, denn wenn das Wasser den Sand mit sich reissen soll, so muss es auch eine starke Geschwindigkeit haben, und sodann leitet man den Bach, wenn er gerade einen starken Zufluss hat, gegen das nächste Sandufer, das man abbrechen will, man kommt aber der Wirkung des Baches noch durch Abgraben zu Hülfe, indem man das Material immer in die Strömung wirft, die es sogleich mit sich reisst und es in der ersten Vertiefung liegen lässt. So versetzt man den Sand ohne Mühe von den Ufern nach der Mitte des Thales und man erreicht noch den Vortheil, dass eine sehr regelmässige Ablagerung und Ebnung wenigstens auf kleinere Strecken leicht erfolgt. Auf diesen Zweck muss aber natürlich noch mit besonderer Vorsicht hingearbeitet werden; trifft das Wasser nicht auf einzelne Vertiefungen, so muss man es dahin leiten, und wo es schon hinreichend den Boden erhöht hat, da darf es nicht weiter hinfliessen, oder es muss in geschlossenem Graben, also mit Beibehaltung einer grossen Geschwindigkeit vorbeigeführt werden und sonach hier keine Niederschläge mehr zurücklassen. Ferner muss man darauf sehen, dass

in der Mitte des Thales sich ein regelmässiges Bette für das Freiwasser bildet, und endlich darf man nicht versäumen, die Gräben, in denen man das Wasser gegen die Ufer leitete, sobald eine Strecke fertig ist, immer gleich auf der Thalseite einzuschliessen, damit sie die ganze Wassermenge gegen die folgenden Ufer führen und diese auf gleiche Art angreifen; diese Gräben am Uferrande sind es auch, welche später das Wasser zur Ueberrieselung zuführen, sie müssen also nach dem vorläufigen Plane schon in einer bestimmten Richtung dirigirt werden. Wenn man nun hiernach auch keineswegs eine ganz regelmässige Oberfläche und ganz vollständige Gräben darstellen kann, so lässt sich doch der schwierigste Theil der Arbeit auf solche Art ausführen, und es bleibt nur übrig, Einzelnes durch Handarbeit zu vollenden, wozu vorzugsweise die zweckmässige Darstellung der Gräben gehört. Es muss hierbei aber noch bemerkt werden, dass die Bäche, gewöhnlich und namentlich wenn sie weiter unterhalb ein starkes Gefälle behalten, den Sand nicht gleich vollständig fallen lassen, sondern ihn zum Theil noch mit sich führen und sonach dieses Wiesenflössen oft Veranlassung ist, dass Versandungen in den untern Theilen ihres Laufes entstehen.

Endlich ist hier noch die sehr sorgfältige Bearbeitung der Wiesen zu erwähnen, die man besonders im Siegenschen häufig antrifft und deren Darstellung man daher auch gewöhnlich den Siegenschen Wiesenbau nennt. *) Das Wesentliche dabei ist wieder, dass man die Gräben und Abhänge zu einer recht frischen Ueberrieselung einrichtet, aber um nach Maassgabe des ganzen Gefälles, welches man dem Wasser geben kann, den möglichst grössten Effect herbeizuführen, so wird die ganze Wiese durch Handarbeit umgelegt und so regelmässig bearbeitet, dass man überall nur die ganz gleichmässig geneigten Ebenen erblickt und keine Unregelmässigkeit sich darin mehr zeigt.

Um die erwähnte kräftige Ueberrieselung hervorzubringen, muss die Fläche eine starke Neigung haben; gewöhnlich sucht man dieselbe auf $\frac{1}{12}$ zu bringen, doch wird als äusserste Grenze $\frac{1}{18}$ angegeben. Hat die Wiesenfläche nun schon diese Neigung, oder kann sie ihr künstlich gegeben werden, so wird die Be-

*) Vorländer, die Siegensche Kunstwiese. Siegen 1837.

wässerung mittelst der horizontalen stufenförmig unter einander liegenden Ueberrieselungsgräben genau in der Art eingerichtet, wie bereits beschrieben worden. Man nennt dieses den **Hangbau.** Die Fig. 134 *a* und *b* zeigt im Grundrisse und Längenprofile diese Anordnung. *E* ist der Zuleitungsgraben, *F* und *G* sind die Ueberrieselungsgräben und man bemerkt dazwischen auch Verbindungsgräben; doch müssen von den letzteren diejenigen, welche die Ueberrieselungsgräben unter sich und mit dem Sammelgraben *H* verbinden, geschlossen werden, wenn die Ueberrieselung vollständig erfolgen soll. Zu diesem Zwecke werden alsdann zugeschärfte Brettchen, wie Schütze, unmittelbar in den Boden bei *N* eingeschoben. Indem man diese öffnet und schliesst, so ist es möglich, jeden Theil der Wiese beliebig zu bewässern, während die andern trocken bleiben.

Zuweilen trifft es sich, dass die Wiese im Allgemeinen nicht das erwähnte starke Gefälle erhalten kann; alsdann bleibt noch immer das Mittel, durch Anordnung von Querabhängen dieses Gefälle wirklich überall darzustellen, wie Fig. 134 *a* und *b* auf der rechten Seite und Fig. *c* im Querprofile zeigen. Man nennt dieses den **Rückenbau**, der auch häufig mit dem Hangbau vereinigt ist, indem die Wiesen gewöhnlich oben ein stärkeres Gefälle haben, als unten. Die Einrichtung des Rückenbaues ist folgende: man theilt die Wiese in dachförmige Rücken ein, welche sich in der Richtung hinziehen, die den Abhang der Wiese bezeichnet. Die Breite der Rücken beträgt nur 2 bis 3 Ruthen, wenn nicht etwa in jedem Rücken noch der Hangbau angebracht ist. Der Sammelgraben oder Zuleitungsgraben *H* ergiesst sein Wasser theils als gewöhnlicher Ueberrieselungsgraben in die anstossenden dreieckigen Flächen zwischen je zwei Rücken, theils aber und hauptsächlich speist er die Rückengräben *J*, die sich längs dem Kamme mit möglichst geringem Gefälle hinziehen. Die letzteren sind nun die eigentlichen Ueberrieselungsgräben, welche das Wasser auf die trapezförmigen Flächen zu beiden Seiten ausgiessen und ausserdem auch die dreieckige Fläche (entsprechend dem Walme eines Daches) bewässern. Zwischen je zwei Rücken ziehen sich die Sammelgräben *K* hin, die alles Wasser der Seitenabhänge auffangen und es in den Abzugsgraben *L* führen. Eine ganz gleichförmige Vertheilung des Wassers findet hier nicht statt,

sobald der Graben *H* und die Rückengräben *J* ganz gleichmässig an allen Stellen das Wasser übertreten lassen, denn die Flächen, die oberhalb des Sammelgrabens *K* liegen, erhalten von zwei Seiten ihre Zuflüsse, während diejenigen, die unterhalb der Rückengräben *J* sich befinden, weder von der einen, noch von der andern Seite gehörig gespeist werden, in ähnlicher Art, wie in der Hohlkehle zwischen zwei Dachflächen sich vieles Wasser ansammelt, während dem Grade, der die Seitenfläche vom Walme trennt, gar kein Wasser zufliesst. Man muss diese Unregelmässigkeit durch die passende Zuleitung und durch Erhöhung oder Senkung der Grabenränder möglichst auszugleichen suchen.

Man überzeugt sich leicht, wie eine schwächere Neigung, welche die Wiesenfläche im Allgemeinen hat, dennoch ausreichen kann, um jeden einzelnen Abhang gehörig steil zu machen. Gesetzt man habe dafür $\frac{1}{12}$ gewählt: die Länge der Rücken betrage 6 Ruthen, ihre Breite 2 Ruthen und das Längengefälle der Rücken- und Sammelgräben $\frac{1}{2}$ Zoll auf die Ruthe oder $\frac{1}{288}$, so wird die Niveaudifferenz zwischen den Gräben *H* und *L* gleich $12 + 2\frac{1}{2} = 14\frac{1}{2}$ Zoll sein, während man für den Hangbau bei Einführung desselben Gefälles 6 Fuss oder 72 Zoll Gefälle gebraucht haben würde.

Es ist hierbei zu bemerken, dass man die Länge der Rücken nicht füglich grösser als 6 Ruthen machen darf, indem sonst die Ueberrieselung nicht gehörig gleichmässig erhalten werden kann. Für das Gefälle der Sammel- und Rückengräben nimmt man zwar $\frac{1}{4}$ Zoll auf die laufende Ruthe als äusserste Grenze an, doch gewöhnlich ist es viel stärker und beträgt namentlich in den Sammelgräben oft 1 Zoll auf die Ruthe; die Rückengräben erhalten dagegen häufig gar kein Gefälle, nicht sowohl weil sie dieses nicht brauchen, als vielmehr, weil es sich von selbst einstellt, indem der untere Theil des Rückens durch aufgetragene Erde dargestellt wird, die sich mit der Zeit etwas setzt. Gemeinhin dehnt sich die Wiese so weit aus, dass ihre ganze Breite durch eine Reihe Rücken nicht umfasst werden kann; alsdann wird der Sammelgraben *L* wieder zum Speisegraben für die folgenden Rückengräben, und es entsteht nun die Frage, ob man in der nächsten Reihe die Rücken so versetzen soll, dass der Sammelgraben *K* unmittelbar in den folgenden Rückengraben übertritt. Diese Anordnung scheint zwar etwas einfacher, sie

widerspricht aber dem Hauptgrundsatze für jede Ueberrieselung, dass man nämlich in möglichst kurzen Abständen immer alles Wasser in einem Graben sammeln muss, wodurch allein verhütet werden kann, dass eine Ungleichmässigkeit in der Vertheilung des Wassers sich nicht zu weit verbreitet. Hiernach ist es vortheilhafter, wie dieses auch gemeinhin geschieht, die Rücken in den verschiedenen Reihen so anzuordnen, dass ihre Axen zusammenfallen.

Was die Ausführung der Erdarbeiten zur Darstellung dieser Wiesen betrifft, so geschieht dieselbe im Siegenschen gemeinhin unter Leitung von gelernten Wiesenbauern, obgleich die Liebhaberei für solche Anlagen so gross ist, dass jeder wohlhabendere Landmann sich gern in dieser Kunst versucht und Kenntnisse davon zu haben glaubt. Das Schwierigste dabei ist immer, die Auf- und Abträge gehörig auszugleichen, was nur nach dem Augenmaasse geschieht; es wird auch kein ganz detaillirter Plan zum Voraus entworfen, sondern man fängt mit den Hauptarbeiten an und richtet die Anordnung derjenigen Theile, wobei weniger zu thun ist, nach den Erdmassen ein, die man von jenen übrig behalten hat, oder dazu noch braucht.

Sobald nun die Arbeit begonnen werden soll, schält man den Rasen von dem Boden ab, der sorgfältig zur Bedeckung der neuen Wiese aufbewahrt wird; dieses geschieht entweder durch das Abstechen gewöhnlicher Rasenstücke, oder man löst, wenn der Rasen zähe ist, lange Streifen desselben von 1 Fuss Breite und 10 bis 15 Fuss Länge und rollt diese um einen Baum, wodurch der Transport, sowie das Auflegen, das wieder durch Abrollen erfolgt, sehr erleichtert wird. Demnächst muss auch der Untergrund genau sortirt werden, der schlechtere dient nur als Füllmaterial, wogegen der bessere unmittelbar unter den Rasen kommt. Jeder Auftrag wird angestampft und Alles sorgfältig nach der Setzwaage geebnet, bevor die Rasendecke aufgelegt wird. So zeigen diese Wiesen häufig eine überraschende Regelmässigkeit und Sauberkeit in der Ausführung; doch hält sich diese nur eine gewisse Reihe von Jahren hindurch, denn wenn einzelne Reparaturen auch regelmässig dabei vorgenommen werden, so pflegt man doch nach 20 bis 30 Jahren die ganze Wiese wieder abzuschälen und sie aufs Neue vollständig zu bearbeiten.

Fünfter Abschnitt.

Fundirung.

§. 32.

Allgemeine Anordnung der Fundirungen.

Nicht leicht darf man schwere Gebäude unmittelbar auf die Oberfläche des Bodens stellen, weil die obern Erdschichten fast nie die nöthige Festigkeit haben, um grosse Lasten mit Sicherheit zu tragen; wenn dieses aber unter gewissen Umständen auch der Fall sein sollte, so tritt noch die Besorgniss ein, dass der Boden, so lange er dem Einflusse der Witterung ausgesetzt bleibt, seine Tragfähigkeit nach und nach verlieren kann. Nur wenn er eben so fest und für das Wasser ebenso undurchdringlich ist, wie die Mauer selbst, so darf man das Fundament fortlassen und das Gebäude unmittelbar auf der Oberfläche des Bodens aufstellen. Dieser Fall kommt jedoch nur sehr selten vor und selbst ein dichtes Gestein wird von der Luft und dem Regen und dem Froste gewöhnlich noch angegriffen und seine Oberfläche zeigt daher fast jedesmal Spuren der Verwitterung, oder sie ist wenigstens mit feinen Rissen durchzogen, in welche das Wasser eindringt und sonach immer mehr den Zusammenhang löst. Es begründet sich hiernach die Regel, dass jeder solide Bau wenigstens in derjenigen T i e f e unter der umgebenden Erdoberfläche fundirt werden muss, wo der F r o s t nicht mehr hineindringt; demnächst aber wird man auch dafür zu sorgen haben, dass weder unmittelbar unter dem Fundamente, noch auch durch die nächst darunterliegenden Erdschichten sich starke Wasseradern hinziehen, welche den Grund unhaltbar machen können, selbst wenn er aus Felsen besteht.

Doch abgesehen von diesen nachtheiligen Veränderungen des Grundes, die in grösserer Tiefe immer weniger wahrscheinlich werden, als in der Nähe der Oberfläche, so nimmt die Tragfähigkeit eines gleichartigen Bodens auch mit der grösseren Tiefe in hohem Grade zu. Besteht der Boden aus S a n d oder einer

festen Erde, deren einzelne Körnchen jeder Bewegung eine starke gegenseitige Reibung entgegensetzen, so wird eine solche Bewegung oder das tiefere Einsinken des Gebäudes unter übrigens gleichen Umständen um so sicherer verhindert werden, je grösser der Widerstand ist, den der Sand einer jeden Bewegung entgegensetzt. Nun ist aber ein Ausweichen des Sandes nicht anders denkbar, als dass die Körnchen, welche fortgeschoben werden, wieder andere drängen und so fort, bis zuletzt neben dem Gebäude der Boden sich erhebt; wenigstens wird dieses geschehen müssen, wenn der Boden mit Wasser durchzogen und überhaupt nicht comprimirbar ist. Hierbei kommen aber um so mehr einzelne Körnchen in Bewegung, je tiefer das Fundament unter der Oberfläche sich befindet, und alle diese Körnchen erleiden wieder einen um so stärkeren Druck und folglich eine um so grössere Reibung, je höher die Sandschüttung darüber ist. Obgleich dieses Räsonnement nicht in jeder Beziehung als vollständig begründet angesehen werden darf, so bietet es sich doch zunächst dar und es führt zu dem Schlusse, dass die Last, welche eine gewisse Grundfläche tragen kann, dem Quadrate der Tiefe der Einsenkung proportional ist. Ein Versuch, den ich in kleinem Maassstabe anstellte, bestätigte dieses wirklich. Ich füllte ein Gefäss mit stark durchnässtem Sande, von welchem ich das überstehende Wasser abgoss; darauf nahm ich einen leichten cylindrischen Stab von $3\frac{1}{2}$ Linien Durchmesser, stellte ihn senkrecht auf die Sandfüllung auf, und indem ich ihn nach und nach beschwerte, so beobachtete ich, wie tief er jedesmal eingedrückt wurde; die Tiefe der Einsenkung betrug bei einer Belastung

von 16 Loth	. . .	0,7 Zoll	
- 48 -	. . .	1,4 -	
- 80 -	. . .	1,7 -	
- 112 -	. . .	1,9 -	

Es lassen sich diese Resultate ungefähr darstellen, wenn man die Belastung gleich setzt dem Quadrate der Einsenkung, multiplicirt mit $28\frac{1}{2}$. Man erhält alsdann aus den beobachteten Einsenkungen die folgenden Werthe für die Belastungen

14 56 82 103

wobei die bleibenden Differenzen immer als Fehler der sehr unsicheren Beobachtungsart angesehen werden können.

Wurde der Sand durch starkes Umrühren förmlich in Triebsand verwandelt, so war die Einsenkung sehr viel stärker, doch konnten hierbei keine Beobachtungen angestellt werden, indem der Sand gar zu ungleichmässig sich lagerte. Wenn ich dagegen trockenen Sand in das Gefäss schüttete und denselben so schwach benetzte, dass das Wasser nur eben die Zwischenräume füllte und vermöge der Attraction eine sehr feste Lagerung des Sandes bewirkte, so drückte das Gewicht von $3\frac{1}{2}$ Pfunden den Stab nur etwa 2 Linien tief ein.

Endlich untersuchte ich auch noch den ganz trockenen Sand. Zunächst beschüttete ich damit den Stab in verschiedener Höhe, alsdann schienen die Gewichte, welche der Stab noch eben tragen konnte, der einfachen Tiefe der Eintauchung proportional zu sein, und dieses Resultat erklärt sich dadurch, dass in diesem Falle gar keine Erhebung in der Oberfläche eintritt. Der vom Stabe verdrängte Sand verursachte nur eine dichtere Ablagerung am untern Ende des Stabes; dass dieses wirklich der Fall war, konnte ich durch eine Schüttung, die abwechselnd aus verschiedenfarbigen Sandschichten bestand, in einem Glasgefässe sehr deutlich wahrnehmen. Die Grenzlinien zwischen den Schichten verschoben sich nämlich vor dem Stabe nur nach unten zu und nirgend wurden sie gehoben, wie es sich beim nassen Sande sehr deutlich gezeigt hatte. Der Stab verdrängt also unter solchen Verhältnissen in jeder Tiefe eine der Einsenkung entsprechende Sandmasse, und der Widerstand, den dieselbe leistet, ist ihrer Reibung oder ihrer Belastung durch die obern Sandschichten proportional.

Wenn ich dagegen beim trocknen Sande den Versuch in derselben Art wie beim nassen Sande anstellte, das heisst, wenn ich den Stab nach und nach mit grösseren Gewichten beschwerte und seine Einsenkung jedesmal beobachtete, so wurde die Tragfähigkeit wieder sehr vermehrt und sie stellte sich ziemlich übereinstimmend mit der zuerst angegebenen heraus, indem die Belastung wieder dem Quadrate der Einsenkung proportional wurde. Dieses erklärt sich wohl dadurch, dass der Sand unter dem Stabe schon vor dem Eintritte jedes vermehrten Druckes um so stärker comprimirt worden war und er daher auch um so geschlossener lag, je tiefer der Stab bereits früher eingedrungen war.

Das Gesagte bezieht sich nur auf reinen Sand; die einzelnen Körnchen, woraus derselbe besteht, sind feste und von einander ganz unabhängige Körper, die unter einem gewissen Drucke wohl weichen, die aber ihre Form dabei gar nicht ändern und keine zusammenhängende zähe Masse bilden. Es kann daher durch einen verstärkten ungleichmässigen Druck eine gewisse Bewegung im Sande allerdings entstehen, dieselbe ist aber jedesmal sehr schnell beendigt, denn sobald die Theilchen so weit versetzt sind, dass ihre gegenseitige Reibung den noch bleibenden Druck aufhebt, so tritt schon das Gleichgewicht ein und dieses wird ohne eine neue Veranlassung nicht mehr gestört. Manche Erdarten zeigen dagegen ein wesentlich verschiedenes Verhalten und sie stehen gewissermaassen den Flüssigkeiten näher; die einzelnen Theilchen afficiren sich nämlich nicht nur durch die Reibung, die sie gegenseitig ausüben, sondern sie kleben auch aneinander und daher schieben sich nicht, wie bei dem Sande, einzelne stark bewegte Theilchen über andern ruhenden fort, vielmehr erstreckt sich die Bewegung durch die ganze Masse und es erfolgt ein Verschieben in der Art, dass die nebeneinanderliegenden Theilchen nicht von einander gerissen werden dürfen, sondern die Differenz der Geschwindigkeiten von beiden unendlich klein bleibt. Diese Zähigkeit und Klebrigkeit setzt aber jeder plötzlichen Bewegung einen grossen Widerstand entgegen, während sie unter dem dauernden Drucke viel unbedeutender wird und vielleicht endlich ganz verschwindet, so dass die Masse wirklich mit der Zeit diejenige Lage annimmt, die sie annehmen müsste, wenn die Theilchen gar nicht an einander hafteten. Schon bei wirklichen Flüssigkeiten, wo nämlich die Reibung sehr geringe ist und alle sich berührenden Theilchen eine solche Lage annehmen, dass Druck und Gegendruck einander gleich sind, ist die Dauer der Bewegung nach dem verschiedenen Grade der Flüssigkeit auch sehr verschieden. Die Libellen oder Niveaux füllt man, wenn sie recht empfindlich sein sollen, mit Aether, und es ergiebt sich aus den astronomischen Beobachtungen, dass sie sich gewiss bis auf eine Bogensecunde jedesmal richtig einstellen, und zwar augenblicklich, nachdem die Schwankungen aufgehört haben. Eine dickflüssige und zähe Masse, wie Honig, nimmt dagegen, wenn man das Gefäss neigt, nur sehr langsam die horizontale Oberfläche wieder an, und auf noch

zähere Massen, wie Pech, kann man bei gewöhnlicher Temperatur ein grosses Gewicht legen, ohne einen merklichen Eindruck zu verursachen, man kann auch mit einem Hammer darauf schlagen, ohne die Masse zum Weichen zu bringen, sie scheint ein fester Körper zu sein; wenn man aber das Gewicht mehrere Tage lang liegen lässt, so sinkt es nach und nach tiefer ein, und nach Wochen und vielleicht nach Monaten hat es sich zuletzt ungefähr so tief gesenkt, wie der hydrostatische Druck es für eine Flüssigkeit bedingt. Solche anscheinend feste Körper sind also wirkliche Flüssigkeiten, ihre Zähigkeit erlaubt es aber nicht, dass die Theilchen sich schnell versetzen; es muss eine geraume Zeit vergehen, bevor das Gleichgewicht dargestellt ist.

Bei einer zähen Erde bildet sich indessen die horizontale Oberfläche nicht nur langsam, sondern auch sehr unvollständig; die Theilchen versetzen sich nur so lange, als der Druck von der einen Seite viel grösser ist, als von der andern, bei geringen Differenzen bleiben sie in Ruhe; es hat also die Reibung, die sich beim Sande so merklich darstellt, auch hier ihren grossen Einfluss behalten, und wenn man sonach ein Gebäude auf einem Grunde aufführen will, der in gewisser Beziehung die Eigenschaften einer Flüssigkeit zeigt, so darf man noch keineswegs befürchten, dass ein Ausweichen bis zur vollständigen Gleichstellung des Druckes und Gegendruckes eintreten wird. Nichts desto weniger verdient ein solcher Boden eine genaue Untersuchung und besonders zeigt der Thon, wenn er nicht sehr trocken ist, immer das erwähnte langsame und dauernde Ausweichen. Wenn der Thon sich aus dem Wasser eben niedergeschlagen hat, so bildet er einen dünnen Schlamm, der jedesmal sehr gefährlich ist, der aber glücklicher Weise nicht leicht eine grosse Mächtigkeit hat, denn die darüber gelagerten Theilchen drängen bald das Wasser so weit heraus, dass er eine grössere Festigkeit annimmt, und sonach findet man ihn in einiger Tiefe gewöhnlich in einem ziemlich compacten Zustande und dieses ebensowohl bei einer Ablagerung unter, wie über Wasser. Nur an den Stellen, wo er mit dem Wasser in Berührung bleibt, also besonders da, wo sich Wasseradern hindurchziehen, ist er stark durchweicht.

Wenn mit dem Thone zugleich Humustheilchen oder unverweste organische Substanzen niederschlagen, so bildet sich ein

besonders loser Boden oder Schlamm, worin die erwähnten Stoffe die feste Ablagerung verhindern und dadurch das Wasser in weit grösserer Menge zurückhalten. In diesem Falle, der in den Niederungen zuweilen vorkommt, lässt sich ein schwerer Bau nur dadurch sicher fundiren, dass man einen solchen Theil von ihm im Boden versenkt, dass er darauf förmlich schwimmen kann; das ganze Gewicht des Baues darf alsdann nicht grösser sein, als die ausgegrabene Schlammmasse, die früher an seiner Stelle befindlich war. Bei manchen Arten von Bauwerken liesse sich diese Bedingung wohl erfüllen; so kann z. B. eine Schiffsschleuse, deren Mauern sich nicht über den Boden erheben, so eingerichtet werden, dass sie den Grund, auf dem sie erbaut wird, durchschnittlich nicht stärker drückt, als er früher durch die darauf liegende Erde gedrückt wurde. Ebenso können Souterrains, die man unter Wohn- und andern Gebäuden anbringt und die man wasserfrei erhält, auch einer Vermehrung des Druckes begegnen, es ergiebt sich aber, dass alle Bauten, die sich hoch erheben und dabei aus grossen Mauermassen bestehen, unter solchen Verhältnissen gar nicht auszuführen sind; es bleibt alsdann nichts Anderes übrig, als den Druck auf die darunter befindlichen festeren Schichten zu übertragen. Es ist nicht bekannt, dass man jemals von dem angedeuteten hydrostatischen Principe vollständig Gebrauch gemacht hat, um Gebäude in sehr losem Boden vor einem Versinken zu sichern; bei Erbauung der Albion-Mühlen in London hat jedoch Rennie zum Theil diese Idee verfolgt. Ich will nach Farey *) die Beschreibung der gewählten Fundirungsart hier gleich mittheilen, indem ich auf diesen Gegenstand nicht weiter zurückkomme:

„Das Gebäude der Albion-Mühlen hat man auf den losen „Anschüttungen am Stirnpfeiler der Blackfriars-Brücke erbaut, „und um theils die Mauern zu sichern und theils mit dem Fun- „damente nicht gar zu tief herabgehen zu dürfen, so entwarf „Rennie den Plan, das ganze Gebäude und die Docke auf umge- „kehrte Gewölbe zu stellen. Zu diesem Zwecke wurde der Grund „unter den Mauern so befestigt, wie dieses auch sonst üblich ist; „wo es nöthig war, schlug man Pfähle ein, oder legte einige

*) *Treatise on the Steam Engine by J. Farey.*

„Schichten von recht grossen und flachen Steinen und bildete so „die Fundamente. Damit nun aber dieselben durch die starke „Belastung nicht in die lose Erde einsinken möchten, so wurden „alle Räume dazwischen mit starken umgekehrten Gewölben ver- „sehen, die sich also unter der ganzen Fläche des Gebäudes „zwischen allen Mauern hinzogen. Diese Gewölbe hatten ihre „Widerlager in den Fundamenten der Mauern, und letztere konnten „nicht sinken, ohne dass die Gewölbe sich in gleichem Maasse „in den Grund eindrückten. So waren denn die sämmtlichen „Fundirungen mit einander verbunden, und sie bildeten eine so „grosse Basis, dass sie selbst in dem Falle das Gewicht des „ganzen Gebäudes hätten tragen können, wenn auch der Grund aus „Schlamm bestanden hätte, denn das Gebäude musste schwimmen „wie ein Schiff im Wasser schwimmt. Welche Senkung aber „auch eingetreten wäre, so hätte daran das ganze Gebäude gleich- „mässig Theil nehmen müssen, und ein Ausweichen oder Ein- „sinken einzelner Mauern war unmöglich. Der Grund hatte „indessen doch einige Festigkeit, und durch die erwähnte Aus- „dehnung der tragenden Fläche wurde der ganze Bau so gesichert, „dass er sich gar nicht senkte.“

Hiermit stimmt gewissermaassen das Verfahren überein, das man beim Stollenbau im leichten Boden anwendet; man bemerkt nämlich, dass der Untergrund, worauf die Seiteneinfassung eines Stollens steht, sich nach und nach erhebt und zuletzt den Stollen ganz anfüllt. Wahrscheinlich sind es die Quellen, welche den Sand theils mit sich führen und theils auflockern und dadurch heben, so dass er immer weiter emporsteigt. Man begegnet diesem Uebelstande wieder durch ein umgekehrtes Gewölbe, das man am Boden anbringt, und diese Methode wird ganz allgemein bei allen unterirdischen Canalstrecken und Tunnelirungen angewendet, so oft der Boden nicht aus festen Gesteinen besteht.

Sobald der Thon einen geringeren Grad von Feuchtigkeit hat, so zeigt sich schon eine sehr starke Reibung zwischen seinen einzelnen Theilchen, so dass die Eintauchung, obwohl sie immer viel grösser als im Sande ist, doch nicht entfernt dem hydrostatischen Drucke entspricht. Ich stellte mit einem guten Töpferthone in derselben Art Beobachtungen an, wie mit dem Sande,

und zwar wurde dabei wieder der cylindrische Stab von $3\frac{1}{4}$ Linien Durchmesser benutzt.

Zuerst setzte ich dem Thone so wenig Wasser zu, dass er nur eben mit Mühe durchgearbeitet werden konnte und dass er an einem hineingestossenen Messer gar nicht haftete; in diesem Falle drang der Stab bei einer Beschwerung

von 2 Pfund nur 1 Linie
- 3 - - 3 Linien
- 4 - - 6 Linien ein.

Sodann setzte ich etwas mehr Wasser hinzu, so dass der Thon so weich wurde, wie der Ziegelstreicher die Masse zurichtet und wie er in einiger Tiefe unter der Erdoberfläche nicht leicht mehr sich vorfindet; ein eingestossenes Messer wurde stellenweise damit überzogen. Eine sehr auffallende Abweichung gegen die mit dem Sande angestellten Beobachtungen gab sich hierbei insofern zu erkennen, als der Stab sich nicht mehr augenblicklich bis zu der Tiefe senkte, die dem Gleichgewichte entsprach, sondern es verging vielmehr eine Viertelstunde und bei den grösseren Belastungen sogar eine halbe Stunde, bevor die Bewegung aufhörte. Die Resultate, die ich erhielt, sind folgende. Bei der Belastung

von $\frac{1}{2}$ Pfund betrug die Eintauchung 1 Linie
- 1 - - - - $2\frac{1}{3}$ -
- $1\frac{1}{2}$ - - - - $8\frac{1}{2}$ -
- 2 - - - - $13\frac{1}{3}$ -
- $2\frac{1}{2}$ - - - - 19 -
- 3 - - - - 28 -

Das für den Sand beobachtete Gesetz, dass nämlich die Einsenkung der Quadratwurzel aus der Belastung proportional ist, fand hier augenscheinlich nicht mehr statt; für die mittleren Werthe ist die Einsenkung ungefähr der Belastung proportional, doch zeigen sich am Anfange und am Ende der Reihen sehr starke Abweichungen, und dass dieselben keine Beobachtungsfehler waren, ergab sich, indem sie bei einer nochmaligen Beobachtung sich wieder darstellten; sie scheinen zu zeigen, dass die Eigenschaft der Flüssigkeit bei grösseren Belastungen im Thone überwiegend wird, während bei kleineren Belastungen die Reibung zwischen den Theilchen der Masse ein angemessenes Eindringen verhindert.

Ich habe diese Resultate nur mitgetheilt, um zu zeigen, dass der Gegenstand einer nähern Untersuchung und Aufklärung noch bedarf und die Aufmerksamkeit in hohem Grade verdient; es ergiebt sich indessen aus dem Gesagten, dass eine tiefere Fundirung auch im gleichmässigen Thonboden ebenso wie im Sande die Standfestigkeit des Baues vermehrt. Besteht der Boden aber aus Lehm, das heisst aus einer Mischung von Thon und Sand, so wird natürlich dieselbe Folgerung ihre Gültigkeit behalten.

Bei Ausführung der Fundirungen im Sande oder im Thonboden kann es nun geschehen, dass die Tiefe, bis zu der man herabgehen muss, um die Mauern mit Sicherheit aufzuführen, so gross wird, dass theils die Kosten für die Erdarbeiten und Fundamentmauern gar zu bedeutend ausfallen, theils aber auch ein so starker Wasserzudrang zu befürchten ist, dass die Arbeit dadurch aufs Neue sehr vertheuert oder wohl gar unmöglich gemacht wird. In diesem Falle bietet sich zunächst das Mittel dar, dass man die tragende Fläche des Fundaments vergrössert. Nach Maassgabe dieser Vergrösserung müssen um so mehr Erd- oder Sandtheilchen verdrängt werden und die doppelt so grosse Fläche kann unter übrigens gleichen Umständen auch das doppelte Gewicht tragen. Dazu kommt aber noch, dass der Weg, den die einzelnen Erdtheilchen beim Ausweichen machen müssen, durch die Vergrösserung der tragenden Fläche auch verlängert wird, oder die Tragfähigkeit des Fundaments gewinnt durch die Verbreitung desselben in einem viel höheren Verhältnisse; wenigstens ist dieses bei jedem Boden zu erwarten, der nicht die Eigenschaften der Flüssigkeit zeigt. Gewissermaassen wird der Vortheil eines breiten Fundaments fast jedesmal wahrgenommen, indem man die Mauern unten mit Banketten versieht, die keinen andern Zweck haben, als eben die tragende Fläche zu vergrössern. Doch auch manche künstliche Fundirungsarten bezwecken allein dasselbe; so der liegende Rost und die Sandschüttungen, wovon später die Rede sein wird.

Demnächst trifft es sich zuweilen, dass die Erdschicht, welche nicht die nöthige Festigkeit besitzt, sich nur etwa 10, 20 bis 30 Fuss tief erstreckt und hier auf Felsboden oder doch auf einer festeren Schicht lagert. In solchem Falle kann man die Last des

Gebäudes durch eingerammte Pfähle auf den festen Untergrund übertragen und dieses ist der eigentliche Zweck des Pfahlrostes. Perronet, dem wir die wichtigsten Belehrungen über die Grundpfähle und über das Einrammen derselben verdanken, stellt ausdrücklich die Regel auf, dass die Pfähle immer bis zum Tuff oder Fels herabgetrieben werden müssen. *) Dabei hat Perronet freilich nur eine gewisse Localität vor Augen gehabt, wie solche sich in Frankreich oft vorfinden mag; nichts desto weniger wird diese Aeusserung es bestätigen, dass der Pfahlrost seine eigentliche Bedeutung nur erhält, wenn er eine feste Schicht in der Tiefe erreicht.

Der Pfahlrost wird indessen auch häufig angewendet, wenn diese Bedingung nicht stattfindet und der Boden in der grösseren Tiefe unverändert dieselbe geringe Festigkeit beibehält, die er oben hat. In diesem Falle erreicht man keinen anderen Vortheil als den, welchen eine Tieferlegung des Fundaments gleichfalls herbeiführen würde; man belastet nämlich eine tiefere Schicht des Grundes, oder vielmehr, man vertheilt den Druck auf die sämmtlichen Schichten, welche von den Pfählen durchdrungen sind, denn überall wo die Reibung den Pfahl zurückhält, da wird ein Theil des Druckes übertragen. Es ergiebt sich hieraus, dass auch diese Anwendung des Pfahlrostes unter gewissen Umständen ganz angemessen sein kann, man darf jedoch nicht unbeachtet lassen, dass der Vortheil dabei zuweilen so geringe ausfällt, dass er die sehr bedeutenden Kosten, die mit dieser Fundirungsart immer verbunden sind, nicht aufwiegt, und endlich ist das Einrammen der Pfähle und das beim Legen des Rostes erforderliche Wasserschöpfen auch häufig für den Boden höchst nachtheilig und verursacht oft ein so starkes Durchfliessen des Wassers, dass die natürliche Festigkeit, welche die obern Schichten früher wirklich hatten, dadurch vollständig aufgehoben wird. Inwiefern dieses beim Sande der Fall ist, ist bereits früher (§. 7) erwähnt worden, und bei Thonschichten, die nur eine geringe Mächtigkeit haben, ereignet sich häufig etwas Aehnliches. Man hat zuweilen Bau-

*) *Mémoire sur les pieux et pilotis* in dem grossen Werke *Description des Ponts de Neuilly etc. par Perronet.* Paris 1788. *pag.* 588.

gruben ausgehoben, worin wegen des zähen Thones der Wasserzudrang so unbedeutend war, dass eine Handpumpe zur Wasserwältigung genügte; sobald man aber zu rammen anfing, so eröffnete sich neben jedem Pfahle ein Quell, und das Wasser nahm zuletzt so sehr überhand, dass es selbst durch die kräftigsten Maschinen nicht mehr zu beseitigen war und man versuchen musste, durch Aenderung der beabsichtigten Fundirungsart die Quellen einigermaassen zu stopfen. Ein Fall dieser Art ereignete sich beim Bau der Brücke zu Orleans; Perronet, der diese Brücke weder projectirt hatte, noch auch an der Ausführung unmittelbar Theil nahm, sondern nur mit der Abnahme des Baues beauftragt war, beschreibt die Verlegenheiten, welche auf solche Art veranlasst wurden und die verschiedenen Mittel, die man dagegen in Anwendung zu bringen versuchte; ähnliche Fälle sind auch sonst vorgekommen, und es ergiebt sich hieraus, dass man keineswegs hoffen darf, überall wo der Grund wenig Festigkeit zeigt, durch Anwendung eines Pfahlrostes alle Schwierigkeiten zu überwinden.

Wenn die Rostpfähle einen festen Untergrund erreichen, oder sie auch nur den umgebenden losen Boden stark comprimiren, so verhindern sie ein späteres Zusammendrücken des Grundes, oder das vom Pfahlroste getragene Fundament senkt sich nicht merklich unter der Last des darauf gestellten Gebäudes. Anders verhält es sich, wenn auf einem nicht ganz festen Baugrunde nur die Verbreitung des Fundamentes vorgenommen wird. Die Senkung, die im letzten Falle erfolgt, ist gewöhnlich nicht nachtheilig, sobald sie ziemlich gleichmässig am ganzen Gebäude sich zeigt, wohl aber wird der Verband in den Mauern und Wänden aufgehoben, sobald ein Theil des Baugrundes sich stärker senkt als der andere. Man muss daher eine ziemlich gleichmässige Senkung überall darzustellen suchen und deshalb die theilweise Anwendung des Pfahlrostes möglichst vermeiden. Hughes *) erzählt, wie beim Bau einer Wasserleitung einzelne Pfeiler auf Felsen und andere auf losem aufgeschwemmten Boden aufgeführt wären und sie sämmtlich gut standen; ein Pfeiler aber, der halb auf Erde und halb auf Felsen gegründet war, spaltete plötzlich auf 30 Fuss

*) *Theory, practice and architecture of bridges. Sect. VI. p. 59.*

Höhe. Bei grosser Ausdehnung der Gebäude und wenn der Boden sehr verschiedenartig ist, so wird man es zuweilen nicht vermeiden können, auch verschiedene Fundirungsarten zu wählen. Alsdann muss man sich aber schon auf ein ungleichmässiges Setzen gefasst machen, und damit dieses ohne grossen Nachtheil für das Gebäude eintreten kann, so ist es noch am vortheilhaftesten, die einzelnen Theile des Gebäudes möglichst wenig unter sich zu verbinden und sie nur stumpf gegen einander aufzuführen.

Der liegende Rost sowohl als der Pfahlrost müssen so tief gesenkt werden, dass sie immer unter Wasser bleiben, weil sie bei abwechselnder Nässe und Trockenheit ihre Festigkeit verlieren und alsdann nicht mehr den darauf gestellten Bau tragen können. Aus diesem Grunde ist es Regel, die Roste immer unter den tiefsten Wasserstand der daneben befindlichen Gewässer oder unter das tiefste Grundwasser zu legen. Man muss indessen auch noch darauf Rücksicht nehmen, dass natürliche oder künstliche Veränderungen im Bette des Baches oder des Flusses möglicher Weise eine noch tiefere Senkung des Wasserspiegels herbeiführen können, als solche bisher beobachtet ist. Alle Stromregulirungsarbeiten haben den Erfolg, dass der Abfluss befördert und sonach der Wasserspiegel gesenkt wird, und so geschieht es, dass man, wo solche Arbeiten mit Eifer betrieben werden, die Roste der Brückenpfeiler und der sonstigen Bauwerke neben dem Strome zuweilen über dem Wasser vortreten sieht, wenn sie auch bisher immer davon bedeckt waren.

Zur Darstellung dieser Tiefe für die Roste wird es nun nöthig, die Baugrube bis unter das Grundwasser auszuheben und sie so lange vom zudringenden Wasser frei zu halten, bis man den untern Theil des Baues vollendet hat. Dazu kommt aber noch, dass gewisse Bauten, wie Schleusen, Freiarchen u. A. noch in einer bestimmten Tiefe unter dem kleinsten Wasser fundirt werden müssen; andere Bauwerke dagegen, wie Brückenpfeiler, die in und neben einem tiefen Flusse stehen, würde man in Gefahr bringen, wenn man den Rost für sie nur eben unter das kleinste Wasser legen wollte, derselbe darf sich vielmehr in der Regel nicht über das Flussbette erheben. Aus diesen Gründen muss man häufig bis zu einer grossen Tiefe unter den Wasserspiegel

herabgehen und zwar zuweilen in dem Flussbette selbst; es wird alsdann nöthig, die Baugrube mit wasserdichten Umfassungswänden oder sogenannten Fangedämmen zu umgeben, auch wohl den Boden gegen ein zu heftiges Durchquellen des Wassers zu sichern und das zudringende Wasser herauszuschaffen. Die Schwierigkeiten, die hierbei eintreten, sind häufig sehr gross, und die Störungen, die sie verursachen, sind gewöhnlich um so unangenehmer, als man selten vorhersehen kann, in welcher Art sie sich zeigen werden. Aus diesem Grunde ist man namentlich in Frankreich seit langer Zeit bemüht gewesen, in solchen Fällen andere Fundirungsarten zu wählen, wobei man diese Wasserwältigung entbehren darf, die höchst unsicher, kostbar und jedenfalls für den Baugrund nachtheilig ist. Hauptsächlich hat man dort zwei Methoden zu diesem Zwecke verfolgt, nämlich einmal die Bétonbettung und sodann die Fundirung in Senkkasten oder Caissons. Nach dem ersten Verfahren wird der an sich feste Untergrund durch Baggern und unter freiem Zutritt des Wassers bis zur nöthigen Tiefe ausgehoben und mit einigen starken Bétonschichten bedeckt, das ist mit einer Art von Mauerwerk, welches aus Steinstücken und Mörtel besteht und durch Einschütten gebildet wird. Ist der Béton erhärtet, so sind alle Quellen, die sonst durch den Boden hervorbrechen würden, gestopft, man kann also nunmehr mit viel leichterer Mühe die Baugrube trocken legen und man hat ausserdem die beiden höchst wichtigen Vortheile erreicht, dass der Untergrund gegen jede Auflockerung durch die hindurchdringenden Quellen gesichert ist und die Bétonlage schon den untern Theil des Fundaments bildet. Was die Methode der Fundirung in Caissons betrifft, so hat diese weniger allgemeinen Eingang gefunden und in neuerer Zeit wird sie auch nicht leicht mehr benutzt; sie beruht aber darauf, dass der Boden geebnet, auch wohl besonders befestigt wird, soviel es sich ohne Wasserschöpfen machen lässt, und dass man nun den Rost, der darauf kommen soll, wasserdicht darstellt und ihn mit wasserdichten Wänden ringsum versieht, so dass letztere die Stelle der Fangedämme sehr sicher vertreten; auf diese Art lässt sich der ganze Bau, ohne dass ein starker Wasserzudrang eintritt, wie in einem Schiffe ausführen.

Ferner hat man auch versucht unter Wasser zu arbeiten und

dieses entweder, indem alle Theile sorgfältig vorbereitet waren und sie alsdann so versenkt wurden, dass sie unter Wasser leicht in die gehörige Verbindung gebracht werden konnten, oder die Arbeiter liessen sich in der **Taucherglocke** herab und waren alsdann im Stande, gleich zur Stelle jede Verrichtung vorzunehmen und Alles genau zu untersuchen und überhaupt beinahe mit derselben Sicherheit zu arbeiten, als wenn sie **über** Wasser beschäftigt wären. Die Beschreibung dieser letzten Methode wird ihre passendere Stelle finden, wenn von der Aufräumung der Fahrwasser die Rede ist, wobei die Taucherglocke am häufigsten angewendet wird.

Um nun in jedem vorkommenden Falle unter diesen verschiedenen Fundirungsarten die passendste zu wählen, so ist vor Allem eine genaue Kenntniss des Terrains erforderlich. Man kann sich hierüber schon durch Untersuchung der in der Nähe stehenden Gebäude einigermaassen ein Urtheil bilden, doch ist dieses immer trüglich, indem leicht eine wesentliche Verschiedenheit in der Festigkeit des Bodens an beiden Stellen stattfinden kann, welche sich aus der blossen Betrachtung der Oberfläche noch nicht zu erkennen giebt. Es zeigen sich solche Unterschiede selbst bei sehr tiefen Sandablagerungen, wie sie z. B. den Boden bilden, worauf Berlin gebaut ist; diejenigen Stellen, welche ehemals Stromarme oder auch nur kleinere Wasserzüge bildeten, haben eine weit geringere Festigkeit als die unmittelbar daneben liegenden, und so geschieht es denn, dass in neugebauten Strassen plötzlich unter einzelnen Gebäuden die Fundamente weichen und die Häuser den Einsturz drohen, während die benachbarten und unmittelbar anstossenden Häuser bei derselben Fundirungsart keine Spur von einer Senkung zeigen. Beim Thon- und Lehmboden kann eine solche Verschiedenheit durch die Quellen gleichfalls erzeugt werden, und selbst bei manchen Felsarten ist sie denkbar, woher es immer das sicherste Verfahren und bei wichtigeren Bauten eine nothwendige Vorsichtsmaassregel ist, den Grund unmittelbar auf der Baustelle zu untersuchen. Es mag hier bemerkt werden, wie der berühmte Telford in dieser Beziehung die grösste Gewissenhaftigkeit theils selbst beobachtete und theils auch eine solche von seinen Untergebenen verlangte; er beklagte sich auch mehrmals sehr bitter darüber, wenn er fand, dass die Bauaufseher,

die ihm gegeben waren, nicht die möglichste Sorgfalt auf die Untersuchung des Grundes verwendeten.*)

In welcher Art die Untersuchung des Baugrundes geschieht, ist im zweiten Abschnitte ausführlich auseinandergesetzt worden; das Abteufen der Schächte, das Aufgraben von Brunnen und vor Allem das Herabtreiben enger Bohrlöcher, wie zur Darstellung Artesischer Brunnen, lehrt die Beschaffenheit des Grundes sehr genau kennen, indem man dadurch aus grosser Tiefe Proben von der Erdart oder dem Gesteine herausbringen kann. Man wird indessen, wenn man diese Untersuchung nur in Betreff der Tragfähigkeit des Bodens vornimmt, nicht leicht bis zu sehr grossen Tiefen herabzugehen brauchen, und in der That hat man zu diesem Zwecke die Bohrung nicht leicht tiefer als etwa bis auf 50 Fuss getrieben und selbst dieses nur in ganz besonders wichtigen und bedenklichen Fällen, wie z. B. bei der Brücke zu Moulins über den Allier. Wie sicher diese Mittel indessen zur genauen Untersuchung der Erd- und Gesteinarten auch sein mögen, so lassen sie doch oft noch Zweifel über die Dichtigkeit der Ablagerung übrig. Es ist schon früher (§. 7) erwähnt worden, wie festgelagerter Sand, sobald Wasseradern von unten nach oben ihn durchziehen, seine Festigkeit sogleich verliert und er sich in Triebsand verwandelt; will man also durch unmittelbares Aufgraben den Baugrund untersuchen und geht man dabei bis unter das Grundwasser herab, so dass ein kräftiges Wasserschöpfen nöthig wird, wobei die Zuflüsse von unten besonders stark werden, so verwandelt sich sogleich der festeste Sand in Triebsand, man würde aber sehr irren, wenn man annehmen wollte, dass dieser schon ursprünglich daselbst gelegen hätte, er wird vielmehr nur durch das Wasserschöpfen gebildet und ebenso lockert sich auch beim Bohren der Sand sehr stark auf. Die thonhaltigen Erdarten werden nicht so schnell vom Wasser durchdrungen, woher die mit dem Spaten oder dem Bohrer herausgebrachten Proben derselben immer weit sicherer auf die Festigkeit der Schichten schliessen lassen.

Um nun über die Art der Ablagerung des Sandes ein sicheres Urtheil zu erhalten, so muss man das Wasserschöpfen dabei ganz

*) *Theory, Practice and architecture of bridges.* London 1839. Heft IV. S. 33.

vermeiden und aufmerksam sein, ob der Bohrer leicht oder nur mit Mühe eindringt. Gemeinhin pflegt man sich aber durch das Eintreiben einer eisernen Stange oder des **Sondireisens** hierüber unmittelbar Kenntniss zu verschaffen. Diese Stange ist, jenachdem sie tiefer oder weniger tief eingestossen werden soll, 1 bis $1\frac{1}{2}$ Zoll stark, unten zugespitzt und oben mit einem breiten Knopfe versehen, damit sie bequem eingerammt werden kann; unter diesem Knopfe hat sie gemeinhin einen Bügel, der beim Rammen zurückgelegt wird, woran man sie aber nachher herauszieht. Zuweilen setzt man sie aus einzelnen Gliedern, wie das Gestänge zum Bohren, zusammen, jedoch ist alsdann dafür zu sorgen, dass die Bundringe nicht zu weit vortreten, weil sonst das Einrammen sehr erschwert wird. Endlich versieht man sie noch zuweilen mit einer oder mehreren Seitenöffnungen, die sich mit dem umgebenden Materiale anfüllen sollen, sobald man die Stange dreht; in solcher Art kann man mittelst dieses Apparats auf einmal und durch einen einzigen Versuch Erdproben aus verschiedenen Tiefen heraufbringen und zugleich durch das leichtere oder schwerere Eindringen der Stange ein ziemlich sicheres Urtheil über die Festigkeit der Ablagerung gewinnen. Hauptzweck dieses Instruments bleibt indessen immer nur die Untersuchung über die Festigkeit des Bodens, denn die übrigen geognostischen Verhältnisse wird man auf diese Art nur sehr oberflächlich oder gar nicht erkennen, indem die in der Stange angebrachten Oeffnungen sich nicht regelmässig anfüllen.

Endlich muss hier noch erwähnt werden, dass der Druck, dem das Fundament ausgesetzt ist, nicht immer senkrecht erfolgt, wie dieses bei einer unmittelbaren und gleichmässigen Belastung der Fall sein müsste. Namentlich bildet sich ein starker horizontaler Druck, wenn das darauf ruhende Mauerwerk das Widerlager eines Gewölbes bildet, oder wenn es eine Erdschüttung, die sich dagegen lehnt, halten soll. Wie stark in beiden Fällen der horizontale Druck ist, soll später nachgewiesen werden, hier ist nur zu bemerken, dass die Mittelkraft des Druckes möglichst in die Mitte des Fundaments oder doch wenigstens in die Basis desselben so treffen muss, dass sie nicht nahe an den Rand fällt, weil sonst leicht der Widerstand neben dem Rande nicht genügend sein möchte, um eine Drehung zu verhindern. Wird das Funda-

ment in diesem Falle noch horizontal gehalten, so kann möglicher Weise und namentlich, so lange der Mörtel noch nicht erhärtet ist, ein Verschieben zwischen den einzelnen Schichten oder auch wohl auf dem Roste erfolgen, und wenn diese Gefahr auch nicht gross ist und man vielleicht noch kein Beispiel dafür wahrgenommen hat, so hat es andererseits auch keine Schwierigkeit, die ganze Fundirung so einzurichten, dass sie dem jedesmaligen Drucke, mag er vertical oder schräge gerichtet sein, den kräftigsten Widerstand entgegensetzt. In England verfolgt man dieses Princip mit grosser Consequenz, indem man die Schichten des Fundaments normal gegen die Richtung des Druckes anordnet, und man begegnet dadurch vollständig der angedeuteten Gefahr. Besonders ist dieser Umstand aber bei Anwendung eines Pfahlrostes von Wichtigkeit, und manche Unfälle an massiven Brücken wurden, wie es scheint, nur dadurch veranlasst, dass die Pfähle, deren oberer Theil in losem Boden steckte und die sonach einem horizontalen Drucke wenig Widerstand entgegensetzen konnten, durch solchen wirklich verschoben oder gebogen wurden. Bei den neueren Bauten in England wird durch die schräge Stellung der Pfähle auch einer Besorgniss dieser Art vorgebeugt, und wenn es sich auch nicht leugnen lässt, dass die Arbeit beim Rammen, sowie beim Legen des Rostes und beim Zuhauen und Versetzen der Steine oder beim Vermauern der Ziegel etwas erschwert wird, sobald nicht mehr das Loth und die gewöhnliche Setzwaage unmittelbar angewendet werden dürfen, sondern gewisse schräge Neigungen darzustellen sind, so ist diese Rücksicht doch so unwesentlich, dass sie unmöglich die Annahme einer solideren Construction verhindern kann. Hierbei wird sich aber auch noch eine Ersparung in der Ausdehnung der Fundirung ergeben, indem alle Verbandstücke und alle Bausteine so angewendet werden, wie sie dem jedesmaligen Drucke den stärksten Widerstand entgegensetzen, und man darf daher nicht mehr den Ausfall an Festigkeit, welchen der schräge Druck bewirkt, durch grössere Massen und durch Vermehrung der Unterstützungspunkte decken.

§. 33.

Fundirung auf festem Boden.

Wenn ein Gebäude auf Felsboden ausgeführt werden soll, so ist es, wie bereits erwähnt worden, noch vortheilhaft, so weit unter die Oberfläche herabzugehen, dass die Einwirkung des Frostes und der Nässe aufhört; im Uebrigen hat man hier gewöhnlich kein Einsinken des Fundaments zu befürchten und man kann daher mit voller Sicherheit die schwersten Gebäude aufführen. Es trifft sich indessen doch zuweilen, dass der Felsboden nicht die Festigkeit und Tragfähigkeit hat, die man im Allgemeinen voraussetzen darf. Hierher gehört zunächst der Fall, dass mancher Boden einer starken Verwitterung unterworfen ist und dass daher die Gebäude, welche ohnfern eines steilen Abhanges aufgeführt werden, mit der Zeit in Gefahr gerathen. Es zeigt sich dieses nicht selten bei den Ruinen alter Burgen in Gebirgsgegenden. Unter dem Wasser pflegt das Gestein sich im Allgemeinen viel besser zu halten, als wenn es abwechselnd der Nässe und Trockenheit ausgesetzt ist, nichts desto weniger kann eine starke Strömung oder auch der Wellenschlag einen Felsen gleichfalls angreifen und nach und nach Theile desselben lösen, so dass das Ufer zurückweicht. Diese Wirkungen sind freilich gemeinhin sehr langsam, aber dennoch unverkennbar; die Flussbetten in Gebirgsgegenden zeigen vielfach solche Einbrüche, woselbst das Ufer eben aus diesem Grunde sich ganz steil erhebt, während gegenüber auf der convexen Seite eine flache Verlandung sich gebildet hat, die ursprünglich hier nicht existiren konnte. Ebenso zeigen auch felsige Meeresufer die deutlichsten Spuren des dauernden Abbruches und derselbe giebt sich im Laufe der Zeit sehr deutlich durch das Zurückweichen der Küste zu erkennen, wie man dieses z. B. längs der französischen und englischen Küste am Canale bemerkt.

Demnächst zeigt es sich zuweilen, dass der Felsboden nicht sicher unterstützt ist. Gewöhnlich sind die tieferen Formationsschichten auch die festeren, und im Allgemeinen darf man daher, sobald der Felsboden erreicht ist, nicht mehr besorgen, dass derselbe bei starker Belastung die darunter befindlichen Schichten

noch zerbrechen oder eindrücken möchte; nichts desto weniger tritt dieses Bedenken doch zuweilen ein. So ist schon erwähnt worden, dass man bei dem Durchstiche bei Blisworth auf der London-Birmingham Eisenbahn eine jüngere Kalksteinformation antraf, die auf Thonschichten lag, von denen die oberen sehr stark mit Quellen durchzogen waren und keine Festigkeit hatten. Man wird also, wann die geognostischen Verhältnisse einige Zweifel begründen, die Bohrungen noch in den Felsen hinein fortsetzen müssen, um sich zu überzeugen, dass derselbe wirklich die gehörig sichere Unterstützung darbietet und die nöthige Mächtigkeit besitzt.

Es kann aber auch geschehen, dass die Felsmasse, die man antrifft und für gewachsenen Felsen hält, nur aus einem losen Geschiebe besteht, welche durch starke Fluthen oder auf andere Art herbeigeführt wurde; besonders ist dieser Fall bei Fundirungen unter Wasser denkbar, wo eine genaue Untersuchung des Bodens gemeinhin sehr beschwerlich und oft unmöglich wird. Ein sehr lehrreiches Beispiel hiervon beschreibt Vicat bei Gelegenheit des im Jahre 1822 und 1823 ausgeführten Baues der Brücke zu Souillac über die Dordogne. *) Der Grund, worauf der erste Pfeiler am linken Ufer fundirt wurde, zeigte in dem untern Drittel von der Länge des Pfeilers eine ganz ebene und horizontale Oberfläche des Kalkfelsens, im Uebrigen bemerkte man nur einige scharf zulaufende Felsspitzen und sehr tiefe Spalten, die mit Kies und Steinschutt angefüllt waren. Man versuchte daselbst Pfähle einzurammen, sie trafen aber bald auf stark geneigte Felsflächen und nahmen alsdann eine schräge Stellung an und krümmten und brachen die Rüstungen, womit man sie lothrecht halten wollte; so wurde das Rammen gefährlich und sogar unmöglich. Ein Taucher liess sich durch einige Felsblöcke, die er vorfand, täuschen und sagte aus, dass er den gewachsenen Felsen an mehreren Stellen vortreten sähe. Das Sondireisen widerlegte wenigstens nicht diese Behauptung, und da die Jahreszeit weit vorgerückt war und sonach zu genauen Untersuchungen keine Zeit blieb, so musste man sich rasch entschliessen. Man nahm also an,

*) *Nouvelle Collection de dessins relatifs à l'Art de l'Ingénieur de* 1821—1825. *I. Partie.*

dass der Kies sich nicht comprimiren, noch ausweichen würde und versenkte ohne Weiteres den Béton, und nachdem er erhärtet war, brachte man im folgenden Jahre die Probebelastung auf einer starken hölzernen Rüstung darüber auf. Von dieser Belastung waren etwa zwei Drittheile aufgepackt, als man die Oberfläche des hölzernen Bodens, die früher horizontal gewesen war, untersuchte und fand, dass dieselbe sich stromaufwärts um nahe einen Zoll gesenkt und stromabwärts um $1\frac{1}{2}$ Linien gehoben hatte; diese beiden Messungen waren etwa in einem Abstande von 50 Fuss von einander angestellt. Man untersuchte sogleich mit der möglichsten Aufmerksamkeit alle Fugen in dem Mauerwerke der Probebelastung, die man zu diesem Zwecke von aussen mit Mörtel verstrichen hatte, und es zeigte sich auch nicht der kleinste Riss. Sonach blieb kein Zweifel, dass der ganze Bétonkörper sich stromaufwärts neigte und in einem Stücke um eine Queraxe in der Nähe des Hinterkopfes des Pfeilers sich drehte. Dieser Hinterkopf selbst, der sich gehoben hatte, musste augenscheinlich seine Unterstützung verloren haben und konnte nur durch die Cohäsion des Mörtels noch schwebend erhalten werden. Der Béton war damals erst vor 10 Monaten versenkt worden und die Probebelastung betrug $3\frac{2}{3}$ Millionen Pfund. Die Belastung wurde nun mit möglichster Schnelligkeit vervollständigt und bis auf $5\frac{1}{3}$ Millionen Pfund gebracht. Plötzlich brach mit heftigem Krachen der etwa 16 Fuss starke Bétonkörper nahe auf ein Drittel seiner Länge auseinander; der kleinere, stromabwärts gelegene Theil desselben senkte sich wieder und behielt im Ganzen nur eine Neigung von $3\frac{1}{2}$ Linien, während der andere grössere Theil sich neben dem Bruche um $6\frac{1}{2}$ Linien senkte und am Vorkopfe um volle 6 Zoll noch tiefer war. Während der nächsten 8 Monate zeigte sich nicht mehr eine fernere Senkung und nach der Quere des Pfeilers hatte sich gar kein ungleichmässiges Setzen zu erkennen gegeben. Man erweiterte nunmehr die Bruchfuge im Béton, so dass sie wieder ausgegossen werden konnte, verankerte die untersten Steinschichten des Pfeilers mit einander, sicherte den Fuss des Fundaments durch eine starke Steinschüttung und verminderte endlich, soviel es möglich war, hier die Belastung, indem man in der Uebermauerung des Pfeilers eine cylindrische Oeffnung anbrachte.

Ferner muss man auch darauf Rücksicht nehmen, ob vielleicht durch bergmännische Arbeiten der Boden seine natürliche Festigkeit verloren hat, und namentlich ist dieses in den Gegenden, wo Steinkohlen gewonnen werden, am meisten zu besorgen, indem hier die grössten Massen gefördert werden und Erdstürzungen sich daselbst am häufigsten wiederholen. Man pflegt zwar bei der Anlage von Gebäuden solche Stellen gewöhnlich zu vermeiden, doch bemerkt man in Chausseen zuweilen stellenweise Senkungen, die durch solche Erdfälle entstanden. Als die Brücke gebaut wurde, welche die Eisenbahn von New-Castle nach North Shields über ein weites Thal führt, entdeckte man in dem Boden unter den Pfeilern die hohlen Räume, welche nach der Ausbeutung der Kohlenflötze geblieben waren, und ehe man die grosse Last der Brücke darauf zu stellen wagte, wurden die Höhlungen mit Bruchsteinmauerwerk wieder ausgefüllt. *) Auch in Paris, wo die Gypslager sich oft in grosser Tiefe unter dem Boden hinziehen, und in früherer Zeit, ehe die Stadt noch ihre gegenwärtige Ausdehnung erhalten hatte, gebrochen wurden, findet man zuweilen bei tiefen Fundirungen die hohen und weiten Gallerien, die schwach gestützt, der Besorgniss Raum geben, dass sie ganz unvermuthet einbrechen möchten. Namentlich waren diese leeren Räume bei der Anlage des Canales St. Martin und der dazu gehörigen Werke sehr bedenklich und besonders dadurch, dass sie einen sehr starken Wasserverlust befürchten liessen; man sah sich daher gezwungen, die Gallerien auszufüllen, und nachdem dieses geschehen war, sie mit einem starken und wasserdichten Mauerwerke zu bedecken.

Es kann sich aber auch ereignen, dass andere künstliche Anlagen noch auf die Festigkeit des natürlichen Steines Einfluss üben; so glaubt man, dass die vor wenig Jahren an der Brücke zu Tours eingetretene Senkung zweier Pfeiler durch die in der Nähe angelegten vielen Artesischen Brunnen veranlasst worden. Es befindet sich nämlich in der Tiefe von 360 Fuss unter dem Wasserspiegel der Loire die besonders ergiebige Schicht, welche das Wasser bis 50 Fuss über den Sommerwasserstand des Stromes treibt; diese hat man durch vielfache Bohrlöcher eröffnet, aber

*) *Theory, practice and architecture of bridges.*

häufig ist der Quell mit so wenig Vorsicht eingefasst, dass er nur zum Theil über der Oberfläche erscheint und daher eine grosse Wassermenge sich in den Kalkmergel ergiesst, worauf die Brückenpfeiler stehen. Die Brücke ist 1766 bis 1769 fundirt worden, und wenn sich auch gleich Anfangs einzelne Pfeiler senkten und einige Bogen einstürzten, so zeigte sie nach der Wiederherstellung, die 1810 beendigt wurde, doch keine Spur einer neuen Gefahr, bis man 1835 die erwähnten Senkungen bemerkte. Eine Untersuchung der Fundamente wurde in der Art bewirkt, dass man die Pfeiler von oben bis unten durchbohrte, und es ergab sich, dass unter dem Roste leere Räume von 1,2 und sogar von nahe 3 Fuss Höhe sich vorfanden. Beaudemoulin *), der diese Thatsachen beschreibt, meint, dass die Veranlassung zu Beschädigungen, die sich nach mehr als 60 Jahren ereigneten, durch besondere spätere Ursachen herbeigeführt sein müsse, und als solche sieht er eben die Artesischen Brunnen in der Nachbarschaft an, die kurze Zeit vorher in Ausführung gebracht wurden. Es lässt sich hiergegen freilich einwenden, dass auch sonstige Ursachen eine allmälige Ausspühlung des Grundes zwischen dem Pfeiler und dem Felsen verursacht haben mögen und die Wirkung davon sich nicht früher zu erkennen geben konnte, als bis der leere Raum eine gewisse Ausdehnung und Höhe erreicht hatte, und ferner, dass der Angriff des Stromes nach der jedesmaligen Beschaffenheit des Bettes auf einzelne Punkte sehr verschieden ausfällt, so dass er oft allein aus diesem Grunde eine Wirkung zeigt, die man früher niemals wahrgenommen hatte, woher zuweilen Stellen, die bisher immer verlandeten, plötzlich in Abbruch gerathen; nichts desto weniger kann man die von Beaudemoulin gegebene Erklärung auch nicht ganz zurückweisen, und es bleibt immer möglich, dass unter gewissen Umständen die Quellen Veränderungen erfahren können, wodurch nachtheilige Wirkungen veranlasst werden.

Endlich ist bei Gelegenheit des Felsgrundes noch zu erwähnen, dass derselbe, ganz abgesehen von den vulkanischen Einwirkungen, auch durch eine andere weit allgemeinere natürliche Veranlassung

*) *Sur les divers mouvements du pont de Tours. Annales des ponts et chaussées.* 1839. *II. p.* 86 ff.

in Bewegung gesetzt werden kann. Dieser Fall tritt besonders in den geschichteten Gebirgen ein, wo das Wasser bei einer geneigten Lage der Schichten leicht die Fugen durchdringt und häufig von dem Gesteine selbst einzelne Theilchen nach und nach löst, die hier liegen bleiben und eine förmliche Schmiere bilden, wodurch die Bewegung um so mehr erleichtert wird. Eines der wichtigsten Beispiele dieser Art ist der am 2. Septbr. 1806 nach lange anhaltendem Regen erfolgte Einsturz einer Kuppe des Rossberges, östlich vom Zugersee, wobei einzelne Felsblöcke von mehreren tausend Cubikfuss Inhalt eine halbe Meile weit und darüber fortgeschleudert und drei Dörfer verschüttet wurden. Es kommt indessen nicht leicht vor, dass grössere Felsmassen sich auf diese Art von selbst lösen; gemeinhin sind es künstliche Anlagen, welche ein solches Ereigniss herbeiführen. Dieses kann entweder durch eine besonders starke Belastung der zunächst am Abhange befindlichen Schichten geschehen, doch ist der gewöhnliche Fall der, dass man durch tiefe Einschnitte die schrägen Schichten an ihrem Fusse löst und ihnen die natürliche Unterstützung raubt. Das Wasser, welches bisher vielleicht nur die Fuge füllte, ohne sie zu durchfliessen, weil der untere Ausgang geschlossen war, fängt nun an lebhaft hindurchzudringen; es vermehrt sich sonach der Angriff desselben auf das Gestein und der auf einer solchen Fuge ruhende Theil stürzt oft erst nach einigen Jahren mit den Bäumen und Allem, was sonst darauf befindlich ist, herab. Besonders kommt dieser Fall im Thonschiefer nicht selten vor und man muss daher bei Bauausführungen in und auf diesem Gesteine die Neigung der Schichten und die Sicherung ihres Fusses aufmerksam in Betracht ziehen.

Wenn nun keine Besorgniss in Bezug auf die sichere Lage des Felsbodens besteht, worauf man den Bau stellen will, so wird zunächst die Oberfläche geebnet und zwar gewöhnlich horizontal dargestellt, wenigstens muss dieses immer geschehen, wenn nur ein verticaler Druck stattfinden kann; im entgegengesetzten Falle würde es sich auch hier rechtfertigen, wenn die tragende Fläche normal gegen die Richtung des Druckes geneigt wäre, doch ist dieses gemeinhin nicht nöthig, indem bei weit gespannten Bogenbrücken, wo der stärkste horizontale Druck sich bildet, die felsigen Ufer gewöhnlich so hoch sind, um demselben sehr kräftig

entgegenzuwirken, und es kommt daher nur darauf an, das Fundament auch rückwärts gegen eine gehörig feste Felswand zu lehnen. Dabei ist es aber nicht nothwendig, dass das ganze Fundament des Pfeilers auf derselben horizontalen Ebene aufsteht, vielmehr kann man ohne Nachtheil eine Abtreppung vornehmen und den Bau auf mehreren einzelnen, aber immer horizontalen Fundamenten ruhen lassen, die stufenweise hinter einander liegen und durch senkrechte Flächen mit einander verbunden sind. Diese Anordnung hat Telford beinahe jedesmal auf Felsboden gewählt und sie auch da angewendet, wo das Gestein an einzelnen Stellen eine geringere Festigkeit zeigte oder etwas tiefer lag, in welchem Falle sogleich das Fundament auf eine entsprechende Art gesenkt wurde; anderntheils haben zuweilen diese verschiedenen Stufen auch eine sehr grosse Höhe erhalten, so hebt sich z. B. das felsige Ufer am Birkwood-Burn bei Lismahago, wo Telford die massive Brücke in der Strasse von Glasgow nach Carlisle baute, auf der südlichen Seite so steil, dass die Fundamente der Flügelmauern treppenförmig in tiefen Absätzen unter einander liegen, von denen der eine, wie Fig. 135 zeigt, sogar 30 Fuss misst.*) Eine solche Anordnung lässt sich nur da rechtfertigen, wo das Gestein so fest und auf solche Art geschichtet ist, dass eine Bewegung desselben unmöglich wird, die einzelnen Theile des Fundaments müssen aber durch senkrechte Wände von einander getrennt werden, denn schräge Flächen, wenn sie auch einer solideren Unterstützung des dahinterliegenden Gesteines entsprechen sollten, darf man nicht anbringen, weil sonst ein Herabgleiten der Fundamente zu befürchten wäre. Endlich ist noch darauf aufmerksam zu machen, dass der eigentliche Widerlagspfeiler in diesem Beispiele nicht in verschiedener Höhe fundirt ist, sondern sein Fundament, welches 8 Fuss Breite hat, vollständig in dem tiefsten Einschnitte liegt; die Stärke dieses Pfeilers beträgt aber am Anfange des Bogens nur 5 Fuss und sonach beziehen sich die Abtreppungen nicht auf ihn selbst, sondern nur auf die beiden Flügelmauern, welche in der Verlängerung der Stirnmauern der Brücke liegen. Diese Rücksicht scheint auch nothwendig zu sein, insofern das unvermeidliche Setzen des Mauerwerks die Brücke

*) *Life of Telford*, Taf. 54.

sonst in Gefahr bringen möchte; während dieses bei der getroffenen Anordnung nur in den Flügelmauern Risse erzeugen kann, die weniger nachtheilig sind.

Zuweilen hat Telford die Fundamente nur sehr wenig in den Felsboden eingeschnitten, wie z. B. für die Docke zu Dundee, die auf dem Rücken einer Klippe erbaut ist und wobei die schwachen Abtreppungen zu beiden Seiten nur eben die Ungleichheiten in der Oberfläche entfernen. Es ist bei einem Bau von dieser Ausdehnung und Lage, und besonders wenn der Fels auch in den obern Schichten eine gehörige Festigkeit zeigt, nicht zu besorgen, dass die Witterung noch einigen Einfluss darauf behalten möchte, und sonach verliert der oben angeführte Grund für eine tiefe Fundirung in diesem Falle seine Bedeutung. Eine eigenthümliche Einschneidung des Fundaments kommt, wie Fig. 136 *a* zeigt, noch bei der Maidenhead-Brücke auf der Great-Western Eisenbahn vor, wo das Fundament mit förmlichen Zahnschnitten in den Kalkfelsen eingreift, um gegen eine Verschiebung durch die flachen Bogen von 128 Fuss Spannung gesichert zu sein. Fig. 136 *b* ist die Seitenansicht des Stirnpfeilers dieser Brücke. *)

Andere Gebäude, welche verhältnissmässig auf einer sehr kleinen Basis stehen und dabei dem stärksten Wellenschlage ausgesetzt sind, wie diejenigen Leuchtthürme, die man auf Klippen in dem Meere erbaut hat, werden zuweilen dadurch gegen den Felsgrund befestigt, dass einzelne Steine der untern Schicht in denselben eingreifen. Dieses ist z. B. bei dem Leuchtthurme auf Bell-Rock der Fall: als man nämlich die Oberfläche der Klippe, die aus einem festen Sandsteine bestand, zur Aufnahme des Fundaments geebnet hatte, zeigten sich darin noch mehrere Vertiefungen und minder feste Stellen; diese wurden regelmässig ausgehauen und 16 grosse Granitquadern darin in Mörtel versetzt. Auf solche Art bildete sich die erste unvollständige Schicht, die mittelst steinerner Dübel ebenso gegen die nächste Schicht befestigt wurde, wie dieses zwischen allen folgenden geschah.

Endlich wäre hier noch zu erwähnen, dass es in manchen Fällen vortheilhaft sein kann, wie dieses Sganzin anräth, eine an sich schon glatte Oberfläche des Felsens absichtlich uneben und

*) *Public works of great Britain.* Taf. 57 u. 58.

rauh zu machen, damit der Mörtel darauf gehörig haftet und man im Stande ist, gleich die erste Steinschicht in einem Mörtelbette zu versetzen. Da jedoch in vielen Fällen der Mörtel mit dem Felsen nicht hinreichend bindet, so möchte es noch passender sein, eine dünne Bétonlage, die sich sehr genau an alle Unebenheiten der Oberfläche anschliesst, zuerst auszubreiten und darüber das Mauerwerk aufzuführen. Wenn die Fundirung aber in einiger Tiefe unter dem Grundwasser vorgenommen werden soll und das Gestein klüftig ist, wie namentlich beim weichen Kalksteine dieses häufig vorkommt, der oft in jeder Richtung mit weiten Spalten vielfach durchzogen ist, so pflegt der Wasserzudrang so stark zu werden, dass alle Versuche zur Trockenlegung der Baustelle missglücken. Alsdann wird die Aufbringung von starken Bétonlagen nothwendig, und nachdem selbige erhärtet sind, gelingt es erst, das Wasser zu gewältigen und das Mauerwerk darzustellen.

Der feste Baugrund beschränkt sich indessen keineswegs allein auf den gewachsenen Felsboden, sondern auch aufgeschwemmter Boden, wie Kies, Sand, Lehm und ebenso der reine Thon, sind häufig im Stande, selbst die schwersten Gebäude ganz sicher zu tragen. Die oben erwähnten Rücksichten zur Vermeidung des Eindringens der Nässe und des Frostes wird man bei diesen Bodenarten freilich in viel höherem Grade wahrnehmen müssen, um den Untergrund vor Quellen möglichst zu schützen, sowie auch zu verhindern suchen, dass nicht etwa der Angriff des Wassers von der Seite her den Bau in Gefahr bringt, indem er ihn untergräbt. Eine genaue Untersuchung des Grundes wird man aber in diesen Fällen und überhaupt in aufgeschwemmtem Boden bei wichtigen Bauausführungen nie unterlassen dürfen, um vorher schon auf alle eintretenden Ereignisse möglichst gefasst zu sein.

Der reine Kies und ebenso jedes gröbere Steingerölle ist immer bei einer heftigen Strömung niedergeschlagen, woher dieses so sicher lagert, dass man dabei eine so lose Schüttung ähnlich dem Triebsande niemals befürchten darf; man muss sich aber davon überzeugen, dass der Kies nicht etwa auf andern lockern Schichten ruht und bei der starken Belastung vielleicht selbst in diese versinkt. Findet eine solche Besorgniss nicht statt und hat der Kies vielmehr eine Mächtigkeit von 10 und 20 Fuss, so kann

man leichtere und schwerere Gebäude mit aller Sicherheit darauf stellen, ohne dass man ein merkliches Nachgeben des Bodens befürchten darf. Er gewährt überdies den Vortheil, dass er auch in der Sohle der Baugrube schon eine hinreichende Festigkeit hat und die Fundamentsteine ihre Lage unverändert beibehalten. Ein grosser Uebelstand ist dabei der sehr starke Wasserzudrang, der sich sogleich einstellt, wie man unter den Wasserspiegel der nebenliegenden Flüsse oder unter das Grundwasser herabgeht; man darf freilich hierbei nicht eine solche Auflockerung des Bodens, wie bei dem feineren Sande, befürchten, aber es giebt sich doch bei anhaltendem Ausschöpfen der Baugrube zu erkennen, dass der Wasserzudrang an Stärke zunimmt, und sonach scheint durch die Quellen einige Auflockerung wohl hervorgebracht zu werden. In Fällen dieser Art, oder wo überhaupt im Kiesboden eine tiefe Fundirung vorgenommen werden soll, findet daher die Versenkung einer Bétonlage wieder sehr passend ihre Anwendung.

In welchen Fällen der reine Sand einen festen Baugrund bildet, ist schon früher angedeutet worden, auch sind bereits (§. 32) die Mittel angegeben, wodurch man sich davon überzeugen kann, dass er sich geschlossen gelagert hat. Begründet sich nun in dieser Beziehung keine Besorgniss und entspricht die Mächtigkeit der Sandschicht gleichfalls dem Gewichte des darauf zu stellenden Gebäudes, so muss man sich besonders hüten, ein starkes Ausschöpfen des Wassers in der Baugrube vorzunehmen, wodurch jedenfalls die Festigkeit der Ablagerung gefährdet wird. Auch hier ist eine Bétonbettung wieder das passendste Mittel, um die Quellen zu stopfen, doch hat man zu diesem Zwecke auch noch andere Methoden zuweilen verfolgt und auf andere Art den Sand zu bedecken und dadurch die Quellen zu sperren gesucht, oder man zerlegte die Baugrube in viele kleine Theile, und indem man jeden derselben besonders behandelte, so beugte man einer nachtheiligen Einwirkung des Wassers vor. Auch der Gebrauch der Spundwände, die im Sande sich sehr regelmässig anbringen lassen, verhindert häufig schon einen zu heftigen Andrang des Wassers. Man hat zuweilen vom Sande gerühmt, dass er nicht comprimirbar sei *),

*) *Description du nouveau pont de pierre* und *Moulins.* Paris 1771. S. 3.

doch findet diese Eigenschaft in aller Strenge nicht statt; die einzelnen Körnchen lassen sich gewiss nicht zusammendrücken und jedenfalls wird eine feste Sandschicht auch keine grosse Comprimirbarkeit zeigen, aber ganz fehlt sie ihr doch nie, denn wie fest auch der Sand bereits gelagert sein mag, so wird bei einer starken Vergrösserung des darauf gestellten Gewichtes doch gewöhnlich ein noch näheres Zusammenrücken der Körnchen möglich sein; es ergiebt sich dieses schon aus den von mir angestellten Beobachtungen, und die Bewegung, welche der Pfeiler der Brücke zu Souillac annahm, scheint dieses gleichfalls zu beweisen. Besonders ist es aber die Oberfläche des Sandes, welche sowohl im trocknen Zustande, als auch, wenn sie vom Wasser bedeckt ist, immer sehr locker erscheint; nur wenn der Sand wenig befeuchtet ist und die Capillar-Attraction das darin befindliche Wasser bis zur Oberfläche steigen lässt, zeigt letztere eine grosse Festigkeit. Findet dieser Fall statt, so kann man durch Abrammen eine recht geschlossene Lage der Körnchen hervorbringen und ein ferneres Eindrücken des Baues vermeiden, aber hierzu ist selten die Gelegenheit vorhanden, denn der ganz trockene Sand und ebenso der ganz nasse wird durch die Schläge der Handramme, die ihn von oben treffen, nur hin- und herbewegt, ohne sich dadurch fester zu lagern. So geschieht es denn, dass die untersten Steinschichten des Fundamentes bei einer starken Belastung jedesmal noch etwas tiefer einsinken und wahrscheinlich auch die nächsten Sandlagen sich gleichfalls noch ein wenig setzen. Jedenfalls bleibt dieser Effect aber immer sehr unbedeutend und er wird nie eine Gefahr für das Gebäude herbeiführen, besonders wenn man das Fundament nach Maassgabe der Belastung verbreitet und es bis zur gehörigen Tiefe unter die Oberfläche des Bodens herabführt. Die Eigenschaft des Sandes, dass die einzelnen Körnchen gegenseitig eine starke Reibung äussern und sich daher in ihrer Lage halten und folglich auch einen verschiedenartigen Druck unter sich ausgleichen, lässt ihn bei Fundirungen so vortheilhaft erscheinen, dass man ihn auch da, wo er nicht vorhanden war, vielfach als die unterste Schicht des Fundamentes benutzt hat; sein eigentlicher Zweck ist in diesem Falle aber nur der, den Druck auf eine recht grosse Fläche zu verbreiten. Hier muss auch noch erwähnt werden, dass ein fest-

gelagerter Sand bei Rammarbeiten den Pfählen einen sehr sichern Stand giebt und dass man in solchem Boden kein Setzen des Fundamentes befürchten darf, sobald die Pfähle einigermaassen bis zum Stehen herabgetrieben waren.

Der grösste Uebelstand beim Sande ist der geringe Widerstand, den er dem durchfliessenden Wasser entgegensetzt; seine Körnchen haften gar nicht aneinander und folgen daher willig einer jeden Wasserader; bei ihrer Feinheit werden sie aber auch leicht gehoben und so durch die Zwischenräume einer Steinschüttung und durch die schmalen Fugen einer Spundwand hindurchgeführt, und es gewährt sonach der Sand als Baugrund nur in dem Falle die nöthige Festigkeit, wenn jede Strömung, die sich durch ihn hindurchziehen oder ihn berühren könnte, abgehalten wird.

Die Eigenschaften des Thones sind in mancher Beziehung denen des Sandes gerade entgegengesetzt; er widersteht sehr sicher dem Eindringen des Wassers, wenn er gegen eine Spundwand oder eine andere ziemlich dichte Wand festgeschlagen ist, und auch bei seiner natürlichen Ablagerung lässt er keine Quellen hindurchdringen; er widersteht ferner einem starken Drucke, wenn er gehörig trocken ist, aber wenn er mehr Wasser in sich aufgenommen hat, so ist seine Tragfähigkeit nicht nur beschränkt, sondern es giebt sich der Mangel derselben auch noch späterhin zu erkennen, und indem der Druck sich nach und nach in ihm ausgleicht, so setzen sich mit der Zeit die am stärksten belasteten Theile des Gebäudes, wenn sie auch Anfangs gehörig unterstützt zu sein schienen, und selbst die Rostpfähle, die unter dem Schlage der Ramme nicht mehr wichen, geben hier dem dauernden Drucke zuweilen nach. Ein stark durchnässter Thon ist daher immer ein gefährlicher Baugrund und dieses um so mehr, als er in diesem Zustande auch dem Eindringen des Wassers wenig Widerstand entgegensetzt. Es gilt diese Bemerkung indessen keineswegs von einem Thonboden, der ziemlich ausgetrocknet ist; auf einem solchen werden freilich schwere Gebäude sich auch noch etwas setzen, doch wird dieses unbedeutend sein, und man kann es grossentheils noch vermeiden, wenn man den Boden vorher stark comprimirt; dieses geschieht am besten, wenn man faustgrosse Steine regelmässig auf der Sohle der Baugrube als Pflaster aus-

breitet und sie mit einer Handramme recht fest einschlägt. So wurde beim Primrosehill-Tunnel auf der London-Birmingham Bahn dieses Verfahren ausdrücklich vorgeschrieben, obgleich man hier, wie es scheint, etwas kleinere Steine anwendete. Andererseits hat man auch häufig statt der Steine kurze Pfähle benutzt und diese letzte Methode kommt mit der Anwendung der sogenannten Füllpfähle ziemlich nahe überein, die in früherer Zeit zur Comprimirung des Grundes nicht selten angewendet wurden. In Venedig braucht man sie auch jetzt noch und gewöhnlich bekommen daselbst die grossen Privatgebäude gar keine andere Fundirung, als dass man vor der Legung des Fundamentes so viele kleine Pfählchen mit der Handramme in die ausgehobene Baugrube einschlägt, bis sie anfangen sehr schwer einzudringen.

Die Eigenschaft des steifen Thones, das Wasser nicht durchzulassen, macht ihn unter vielen Verhältnissen besonders wichtig, und man hat ihn sogar vielfach benutzt, um einen künstlichen Baugrund darzustellen. Dieses war zum Theil schon von Régemortes und de Cessart geschehen, doch dehnte Telford dasselbe Verfahren auf eine früher nie geahnete Weise aus, um Schwierigkeiten zu überwinden, die unübersteiglich schienen. Am nordöstlichen Eingange des Caledonischen Canales, nicht weit von Inverness, sollte in dem Loch-Beauley die erste Seeschleuse, genannt die Schleuse von Clachnacharry, erbaut werden. Hätte man sie auf dem festen Ufer angelegt, so würde die Einfahrt der Schiffe durch das weit ausgedehnte davorliegende Watt (ein aufgeschwemmter thoniger Boden, der nur bei der Fluth mit Wasser bedeckt ist) noch gesperrt worden sein, und die Erbauung von Molen zur Sicherung der Mündung schien hier nicht ausreichend, daher entschloss sich Telford, die Schleuse 97 Ruthen von der Grenze des Hochwassers ab in die See hinein zu verlegen. Der Grund war an dieser Stelle so weich, dass eine 55 Fuss lange eiserne Stange darin versank und sonach an gewöhnliche Fangedämme gar nicht gedacht werden konnte. Die Hügel neben der Küste bestanden aber aus einer festen und zähen Klaierde; es wurden also in der Richtung der künftigen Canaldeiche Eisenbahnen angelegt und darauf zunächst das Material für die Deiche selbst beigeführt, und nachdem diese dargestellt waren, auch auf die Stelle, wo die Schleuse hinkommen sollte, grosse Thonmassen

hingeworfen; letztere erhielten eine solche Ausdehnung, dass sie zugleich die Fangdämme um die Schleuse bildeten, und ihre ganze Höhe betrug (nach Flachat) 60 Fuss. Darüber packte man noch eine grosse Menge Steine, die später beim Schleusenbau benutzt werden sollten und liess diese Schüttung ungefähr 6 Monate lang liegen. Während dieser Zeit war die Oberfläche der Thonmasse um 11 Fuss gesunken, und da sie endlich keine weitere Bewegung zeigte und man daher annehmen konnte, dass der weiche Untergrund gehörig comprimirt sei, so fing man an, die Baugrube darin auszuheben; eine Kettenpumpe, die durch 6 Pferde getrieben war, schöpfte das Wasser bis auf die Tiefe von 15 Fuss aus, und bei der ferneren Vertiefung, die man bis 30 Fuss unter das Hochwasser trieb, wurden die Pumpen durch eine Dampfmaschine in Bewegung gesetzt. Man kam hierbei bis 8 Fuss in den comprimirten natürlichen Boden hinein, doch hütete man sich, auf einmal eine grosse Oeffnung darin darzustellen, man mauerte dafür in einzelnen Theilen von etwa 1½ Ruthen Länge den Schleusenboden in der Mitte 2 und an den Seiten 5 Fuss hoch in Bruchsteinen aus und spannte alsdann im Zusammenhange ein umgekehrtes Gewölbe darüber, welches in den Schleusenmauern sein Widerlager fand. Es verdient bemerkt zu werden, dass die Rostpfähle, die man nur unter den beiden Häuptern der Schleuse anwendete, sehr schnell und in ununterbrochener Arbeit eingerammt werden mussten, denn wenn eine Pause von einer Stunde dazwischen eingetreten war, so konnten sie weder tiefer eingeschlagen, noch auch herausgezogen werden. Ueber dieses ganze Verfahren äussert sich noch Telford in folgender Art: „diese Methode, den Schlamm „zu comprimiren und die ganze Baustelle darin zu versenken „und später das Gebirge von Klay zu durchstechen, um die „Eingänge zur Schleuse zu bilden, war nur ein Nothbehelf, doch „ergab es sich später durch Vergleichung der Kosten, dass, „wenn auch gewöhnliche Fangedämme hier anwendbar gewesen „wären, die Ausführung derselben sich doch nicht so wohlfeil „als dieses Mittel herausgestellt haben würde.“ *)

*) *Life of Thomas Telford.* London 1838. S. 58. Eine Beschreibung dieses Baues gab schon früher Flachat in seiner *Histoire des travaux du Canal Calédonien*, Paris 1828; doch stimmen die Angaben darin grossentheils mit denen von Telford nicht überein.

Schliesslich muss in Bezug auf die Fundirungen im aufgeschwemmten Boden noch bemerkt werden, dass dieselben nur insofern eine gehörige und sichere Unterstützung finden, als die Erde darunter nach keiner Seite leicht ausweichen kann. Wollte man sie daher in der Nähe eines steilen Abhanges anbringen, so würde der Boden darunter auf der Seite nach dem Thale leicht entweichen können und sonach eine Senkung hier möglich werden, dieselbe würde aber noch dadurch befördert, dass auch die Quellen in eben dieser Richtung sich hinzuziehen pflegen. Die Vorsicht, die man zuweilen in diesem Falle empfiehlt, nämlich dem Fundamente einige Neigung, und zwar dem Abhange entgegengesetzt, zu geben, kann bei aufgeschwemmtem Boden nichts helfen, indem dieser Boden selbst in Bewegung geräth, sobald er sehr stark belastet ist. Das sicherste Mittel besteht darin, dass man das Fundament entweder bis zur Thalsohle herabführt, oder es doch wenigstens so weit senkt, dass die gerade Linie, welche von demselben nach der nächsten Stelle der Thalsohle gezogen wird, nicht steiler als etwa unter 20 Graden gegen den Horizont geneigt ist; diese Regel begründet sich aber dadurch, dass selbst sehr lose und stark durchweichte Erdarten keine flacheren Böschungen zu bilden pflegen und daher in diesem Falle der nachtheilige Einfluss der Quellen aufhört. Hiernach sind auch dergleichen Abtreppungen, wie sie in felsigem Ufer vorkommen und wie Fig. 135 eine solche zeigt, bei losem Boden gar nicht statthaft, sie dürfen vielmehr nur sehr flach ansteigen.

§. 34.

Verbreitung des Fundamentes.

Einigermaassen pflegt man die Fundamente auch im festen Boden zu verbreiten, indem man sie mit Banketts versieht, welche an einer oder beiden Seiten gegen die Mauer vortreten und sonach die tragende Fläche vergrössern. Hier soll jedoch von einer stärkeren Verbreitung des Fundamentes die Rede sein, wodurch man auch einen minder haltbaren Boden zur gehörigen Unterstützung des Gebäudes fähig macht. Es leidet keinen Zweifel, dass jeder Baugrund, und wenn er auch noch so lose wäre, einigem Drucke widerstehen kann, er fängt nur an zu weichen,

sobald dieser Druck grösser wird, als seine Tragfähigkeit es ist; vertheilt man daher den Druck auf eine recht grosse Fläche, so wird jeder einzelne Quadratfuss Oberfläche um so weniger belastet und um so sicherer kann er daher diese Last tragen. Gemeinhin wird indessen hierbei noch eine andere Absicht verfolgt: ein weicher und nachgiebiger Boden ist nämlich sehr häufig nicht überall von gleicher Beschaffenheit, er kann theilweise ein grösseres Gewicht tragen als an andern Stellen. Wollte man also unmittelbar ein Gebäude darauf stellen, dessen Theile unter sich nicht ganz innig verbunden sind, so würde leicht eine Ecke oder sonst irgend ein Theil stärker einsinken, als ein anderer, und dadurch das Ganze weit mehr beschädigt werden, als wenn es sich im Zusammenhange und möglichst gleichmässig gesetzt hätte; in vielen Fällen möchte der letzte Erfolg sogar wenig nachtheilig erscheinen. Hiernach wird es Bedingung, dass die tragende Fläche unter dem ganzen Gebäude zusammenhängt und sie so innig verbunden ist, dass nirgend eine Trennung erfolgen kann. Dieses allein genügt aber noch keineswegs, denn ein Biegen dieser Fläche muss gleichfalls nicht stattfinden, wenn man vor jedem Bruche im Gebäude gesichert bleiben und den Druck allein auf diejenigen Punkte des Bodens übertragen will, welche am wenigsten nachgeben.

Die gewöhnlichen liegenden Roste sind keineswegs so steif, dass sie jeder Biegung widerstehen, und eben so wenig findet dieses bei denjenigen Constructionen statt, die man statt ihrer zuweilen anwendet. Das Mauerwerk an sich hat dagegen, wenn es in gehörigem Verbande und mit gutem Materiale ausgeführt ist, einen starken innern Zusammenhang und hierdurch allein kann ein mögliches Biegen des Fundamentes oder des Rostes verhindert werden. Man darf sonach in der erwähnten Beziehung von dem liegenden Roste sich nicht zu viel versprechen; derselbe gewährt vielmehr den grössten Nutzen nur im Anfange des Baues, wo die verlegten Steine noch nicht gehörig binden und sie daher vielleicht einzeln sich in verschiedene Tiefe eindrücken möchten; diesem Effecte wirkt er vollständig entgegen, und gerade Anfangs, so lange er noch nicht stark belastet ist, zeigt er auch eine hinreichende Steifigkeit. Endlich erwartet man zuweilen von einer solchen Unterlage unter dem Fundamente auch noch, dass sie

nicht nur steif sei und daher das Brechen des Gebäudes verhindere, sondern dass sie auch ein ganz gleichmässiges Setzen bewirken und verhüten soll, dass nicht etwa eine Seite tiefer herabsinkt als die andere und sonach der Bau eine schiefe Stellung einnimmt. Es darf kaum erwähnt werden, dass dieser Erfolg nur von der Beschaffenheit des Untergrundes abhängt und der Rost dazu gar nichts beitragen kann.

Beim Abbruche alter Gebäude findet man zuweilen Fundirungsarten gewählt, die einem liegenden Roste sehr nahe kommen; als man vor etwa zehn Jahren die Altstädtische Kirche in Königsberg abtragen musste, die auf einem sehr unsichern Grunde im sumpfigen Thale des Pregels vor mehr als fünf Jahrhunderten gebaut war, so fand man unter den Fundamenten der hohen Umfassungsmauern und der Pfeiler eine Reihe von Aesten und Stämmen von Ellernholz neben einander flach auf den Boden gelegt, und diese hatten sich so wohl erhalten, dass sie grossentheils noch fest waren und man die Holzart sogleich wieder erkannte; besonders interessant war es, dass man unter ihnen auch noch den Rasen sehr deutlich wahrnehmen konnte, woraus sich also ergab, dass man gar keine Fundamentgräben für dieses grosse und hohe Gebäude eingeschnitten, sondern man sich begnügt hatte, nur den natürlichen Rasen mit Holzstücken zu bedecken und darauf die Mauern aufzuführen.

Eine der merkwürdigsten Anwendungen des liegenden Rostes wurde bei Erbauung der Seilspinnerei zu Rochefort durch Blondel ausgeführt; der thonige Boden zeigte an der Oberfläche eine genügende Festigkeit, doch nahm diese in einiger Tiefe bedeutend ab, und bei 12 Fuss fand sich bereits so viel Wasser im Thone vor, dass er in einen dicken Schlamm überging. Letzterer setzte sich nun so weit fort, dass man die festen Schichten darunter gar nicht entdecken konnte und daher an einen Pfahlrost nicht zu denken war. Das Gebäude musste also allein durch die oberen Erdlagen getragen werden, und es kam darauf an, diese möglichst wenig durch Einschneiden zu schwächen. So wurde denn in geringer Tiefe der Rost gelegt und der Bau darüber ausgeführt, der auch wirklich ein sehr gleichmässiges Setzen zeigte.

Man hat später von dem liegenden Roste häufig Gebrauch gemacht und auch gegenwärtig verspricht man sich zuweilen einen

sehr günstigen Erfolg von seiner Anwendung. Es fehlt nicht an Beispielen, welche zeigen, dass Gebäude, die auf diese Art fundirt wurden, einer starken Senkung ungeachtet doch weder Risse bekamen, noch auch eine schiefe Stellung einnahmen. Es lässt sich hieraus indessen keineswegs der Schluss ziehen, dass der günstige Erfolg wirklich durch diese Fundirungsart veranlasst wurde, vielmehr musste der Boden daselbst schon an sich eine so gleichmässige Beschaffenheit haben, dass er überall ungefähr in gleicher Art nachgab. Der wichtigste Vortheil des liegenden Rostes möchte wohl darin bestehen, dass man mittelst der Schwellen desselben die Fundamente unter den einzelnen Mauern gegen einander verankern kann, was besonders unter den Widerlagern von Gewölben sehr vortheilhaft ist, sobald der Boden nur geringe Festigkeit hat.

Bei der Ausführung eines Rostes muss man zunächst dafür sorgen, ihn in solcher Höhe zu verlegen, dass er beständig vom Wasser bedeckt bleibt; wäre dieses nicht der Fall, so würde er sehr bald verfaulen oder verrotten und man könnte alsdann nicht nur gar keinen Vortheil von ihm erwarten, sondern er würde unter der darauf ruhenden Last auch noch zerdrückt werden und dadurch eine neue Veranlassung zur Senkung des Gebäudes abgeben. Im Thonboden, wo die Feuchtigkeit länger zurückgehalten wird, ist dieser Uebelstand zwar in etwas geringerem Grade zu besorgen, als im Sande, der immer viel schneller austrocknet; nichts desto weniger muss man auch dort bis unter den kleinsten Wasserspiegel herabgehen und dabei, wie bereits erwähnt worden, auch noch darauf Rücksicht nehmen, dass der Wasserstand vielleicht durch besondere Umstände in Zukunft noch tiefer gesenkt werden kann, als dieses bisher geschah.

Fig. 137 *a*, *b* und *c* zeigt einen liegenden Rost im Querschnitte und in den Ansichten von oben und von vorn. Den wichtigsten Theil desselben bilden die Langschwellen, welche eben das Fundament der Länge nach zusammenhalten sollen; besonders müssen sie in ihren Stössen gehörig verkämmt, auch wohl durch eiserne Klammern verbunden sein, damit sie sich nicht etwa auseinanderziehen können, und ebenso ist es nöthig, dass diese Stösse gehörig im Verbande liegen und immer auf die Unterlager treffen. Die Langschwellen haben eine Stärke von 8 bis

12 Zoll und man legt sie in solcher Entfernung von einander, dass die Bohlen darüber noch mit Sicherheit die Mauer tragen können; die Bohlen sind 3 bis 6 Zoll stark, sie werden mit hölzernen Nägeln befestigt und man giebt ihnen zuweilen durch Einhauen mit der Axt eine recht rauhe Oberfläche, damit das Mauerwerk besser darauf haftet. Die eigentliche Verbindung unter sich erhalten die Langschwellen durch die Unterlager, die zugleich aber auch wirkliche Zangen sind; diese werden nach der Schnur und der Setzwaage in Abständen von 4 bis 6 Fuss auf dem Boden der Baugrube gehörig verlegt, und wo sie die Schwellen tragen, sind sie 2 bis 3 Zoll tief eingeschnitten, während die Schwellen selbst in ihrer vollen Stärke darüber fortgehen. Hierbei darf indessen keineswegs die ganze Last des darauf gestellten Baues auf den Unterlagern und Rostschwellen ruhen, denn beide würden sich in diesem Falle sogleich in den losen Untergrund eindrücken und das Senken des Fundamentes wäre noch viel stärker, als wenn man gar keinen liegenden Rost gebraucht hätte. Es ist sonach nothwendig, die einzelnen Rostfelder und ebenso auch den Raum zur Seite bis zur obern Fläche der Schwellen sorgfältig anzufüllen und festzustampfen; man kann hierzu verschiedenes Material benutzen; wenn man Thon oder Lehm anwendet, so ist es gut, denselben recht fest einzuschlagen, und ein Zusatz von Kies oder kleinen Steinen würde dabei insofern auch sehr vortheilhaft sein, als eben dadurch der Thon weniger comprimirbar wird. Hat man dagegen nur Sand, so ist es vortheilhaft, ihn von oben stark anzugiessen, wodurch die Körnchen eine sehr geschlossene Lage annehmen, besonders wenn in dieser Zeit der Wasserstand mittelst der Schöpfmaschine einige Fuss tiefer gehalten werden kann. Etwas Aehnliches gilt auch vom Bauschutte, der gleichfalls durch starkes Angiessen sich recht compact lagert, der aber wegen der häufig darin befindlichen ungebrannten Thonerde durch Anstampfen noch um so fester wird. Jedenfalls muss man dafür sorgen, dass diese Füllung bis zur untern Fläche des Bohlenbelages reicht, damit der Druck hier sogleich eine vollständige Unterstützung findet, und wenn auch ein Herabsinken der obern Erdschichten nicht verhindert werden kann, so darf doch keineswegs der Rost selbst sich in diese Schichten hineindrücken lassen.

Zuweilen umgiebt man den liegenden Rost noch mit einer Spundwand und dieses hauptsächlich in der Absicht, um ein Auswaschen des Grundes und sonach ein Unterspühlen des Fundamentes zu verhindern. Ein solcher Zweck lässt sich indessen hierdurch nicht mit Sicherheit erreichen, denn man darf nicht voraussetzen, dass die Spundwand wasserdicht sei; die Wasseradern können sie folglich durchdringen und sobald dieses geschieht, muss man das Ausspühlen der Erde auch noch besorgen; ein solcher Erfolg wäre freilich noch leichter möglich, wenn der Rost ganz frei läge, er wird aber keineswegs durch die Spundwand gänzlich verhindert. Dazu kommt noch, dass, wenn überhaupt ein Auswaschen oder Auflockern des Grundes zu besorgen ist, ein solches durch die Spundwand nur unmittelbar unter dem Fundamente, aber keineswegs in dessen nächster Umgebung verhindert werden kann; es ist aber dieses eben so nachtheilig wie jenes, denn sobald der Grund sich hier erweicht, so wird die Spundwand von dem auf der innern Seite stattfindenden Drucke herausgedrängt werden und alsdann senkt sich der Rost. Es muss sonach für den liegenden Rost ebenso wie für jede andere Fundirung als Regel gelten, dass überhaupt keine Quellen sich unter derselben hindurchziehen dürfen; und wenn die tiefer liegenden Wasseradern, von denen früher die Rede war, die man weder leicht entdecken, noch abschliessen kann, hiervon auch eine Ausnahme machen, so dürfen wenigstens keine Quellen so nahe unter dem Fundamente vorkommen, dass ein Ausspühlen zu besorgen ist; man vermeidet dieses aber, indem man das Fundament so tief senkt, dass der Weg, den die Wasseradern nehmen müssen, wenn sie unter demselben noch durchdringen, so lang und deshalb mit so vielen Widerständen verbunden ist, dass eine starke Strömung nicht mehr eintreten kann. Es ist dieses oft eine neue Veranlassung, die Fundamente recht tief zu legen, und besonders wenn der Bau, wie etwa ein Wehr, einen höheren Wasserstand vor sich erzeugen soll. Die Spundwand, womit man den liegenden Rost umgiebt, hat indessen noch andere Zwecke, die sie oft vollständig erfüllt; zunächst besteht ein solcher darin, dass während des Baues schon ein starker Wasserzudrang aus der Baugrube abgehalten wird, indem die Spundpfähle manche Adern, die sich in dieser Zeit sehr nachtheilig zeigen würden,

theils unmittelbar und theils durch die Compression der Erde sperren und überdies hinter denselben ein Thonschlag zu demselben Zwecke angebracht werden kann. Demnächst aber gewährt die Spundwand eine sehr feste Umschliessung und sie verhindert das Ausdringen der Erde, was sonst vielleicht an einzelnen Stellen erfolgt wäre; es findet sonach der liegende Rost in diesem Falle viel früher den nöthigen Widerstand, um ohne ferneres Einsinken das Gebäude sicher zu tragen.

Die Verbindung des liegenden Rostes mit der Spundwand geschieht in der Art, dass man die äussere Langschwelle beim Einrammen der Spundpfähle schon als Lehre benutzt; man erreicht dadurch den Vortheil, dass zwischen der Spundwand und dem Bohlenbelage die Erde unter dem Roste sehr sicher eingeschlossen wird, indem die Fuge zwischen beiden durch die äussere Schwelle gedeckt ist, wie dieses Fig. 138 zeigt. Eine vollständige Verbindung darf aber zwischen der Spundwand und dem liegenden Roste nicht stattfinden, indem ersterer seiner Natur nach einer gewissen Senkung ausgesetzt bleibt und diese unregelmässig ausfallen müsste, wenn sie durch die Spundwand zum Theil gehindert würde.

Häufig geschieht es, dass die Mauer, die auf dem Roste steht, sich nicht in gerader Richtung fortzieht, sondern unter einem gewissen Winkel und am gewöhnlichsten wohl unter einem rechten Winkel seitwärts abgeht, wie dieses bei Flügelmauern besonders häufig vorzukommen pflegt. In solchem Falle lässt sich der Verband zwischen beiden Theilen des Rostes am leichtesten dadurch darstellen, dass die Schwellen des einen Theiles über die des andern fortschiessen und also die Enden der Schwellen zum Theil Unterlager für die andern Schwellen werden. Der Bohlenbelag liegt alsdann nicht durchweg in derselben Höhe, sondern es bildet sich auf den Ecken eine Stufe; dieser Umstand ist für die Festigkeit nicht nachtheilig, man muss aber dahin sehen, dass beide Theile des Rostes noch unter dem kleinsten Wasser liegen und dass die Schwellen durch eine solide Verkämmung mit einander verbunden werden. Da die Fundirung in der grösseren Tiefe immer kostbarer wird, so pflegt man gewöhnlich denjenigen Theil des Rostes am tiefsten zu legen, der die geringste Ausdehnung hat. Wenn ferner die Flügelmauer nicht

senkrecht, sondern schräge von der Hauptmauer abgeht, so müssen die Schwellen wieder parallel zu den Mauern liegen, man lässt sie also in derselben Art sich schräge schneiden, wie sie früher sich senkrecht trafen, und die nächsten Unterlager zu beiden Seiten bekommen auch noch eine schräge Lage, doch gehen sie bald in die senkrechte Richtung über; die Bohlen müssen aber jedesmal auf allen Schwellen aufliegen, man darf sie daher nicht in kurze dreieckige Stücke verschneiden, sondern sie können nur an einer Seite etwas schmäler werden, damit sie nach und nach in die senkrechte Richtung übergehen. Fig. 139 *a* und *b* zeigt diese Anordnung im Grundrisse und im Querschnitte.

Bisher ist nur von derjenigen Construction des liegenden Rostes die Rede gewesen, wie sie bei uns üblich ist; in England und Frankreich weicht man in mancher Beziehung wesentlich davon ab. Beim Bau der Brücke zu Gloucester über den Severn, wo der Bogen von 150 Fuss Spannung sehr feste Widerlager erforderte, fundirte Telford dieselben 18 Fuss unter dem niedrigen Wasser auf einem groben Kieslager und zwar in einer Ausdehnung von 40 Fuss Länge und 37 Fuss Breite. Er liess zuerst auf dem wohlgeebneten Grunde eine Schicht flacher und lagerhafter Steine ausbreiten und hierüber legte er den Rost; derselbe bestand in einer Richtung wie in der andern aus Balken von Kiefernholz, die weniger hoch als breit waren und 3 Fuss von Mitte zu Mitte entfernt lagen. Vierzehn Stück derselben von 37 Fuss Länge wurden senkrecht gegen die Richtung des Stromes verlegt, und dreizehn andere, 40 Fuss lang, kamen quer darüber. Beide wurden bis zur Hälfte überschnitten, so dass sie oben wie unten bündig waren; die viereckigen Oeffnungen, die etwas über 2 Fuss im Quadrat hielten, wurden mit Bruchsteinen sorgfältig ausgemauert und dann kam ein vierzölliger Bohlenbelag von Buchenholz darüber, der noch auf dem Roste vernagelt wurde.

Beim Bau einer Schleuse auf dem North-Walsham- und Durham-Canale in Norfolk wählte Hughes die folgende Construction; der Boden bestand daselbst aus Moorerde, worin sich Sandadern und einzelne Kieslager vorfanden, die in allen Richtungen das Wasser zudringen liessen und den Grund so erweicht hatten, dass man ohne grosse Mühe eine eiserne Stange bis auf 28 Fuss Tiefe einstossen konnte. In dieser Tiefe fand sich ein

festerer Untergrund vor, doch scheute die Actiengesellschaft die Kosten, um das Fundament so weit herabzuführen, oder einen Pfahlrost anzuwenden. Es wurde daher wieder der liegende Rost gewählt; man streckte Kiefern Halbholz, 1 Fuss breit und 6 Zoll stark und in einem lichten Abstande von 3 Fuss, nach der Quere der Schleuse auf die Sohle der Baugrube; die Länge dieser Hölzer betrug, da sie bis unter die Strebepfeiler reichen mussten, 32 Fuss. Hierüber nagelte man unmittelbar den dreizölligen Bohlenbelag und rammte einige Reihen Spundwände vor und hinter dem Roste ein. Diese Spundpfähle drangen nie tiefer als 15 Fuss und oft nur 9 bis 10 Fuss, und wenn die Arbeit auch nur sehr kurze Zeit (Hughes sagt wenige Secunden) unterbrochen war, so liessen sie sich gar nicht mehr bewegen und konnten alsdann weder unter den Schlägen der Ramme tiefer herabgebracht, noch auch herausgezogen werden.

Eine eigenthümliche Construction des liegenden Rostes, die Telford bei der Tewkesbury-Brücke über den Severn anwandte, verdient noch erwähnt zu werden; das eine Ufer bestand nämlich aus einem festeren Boden, so dass ein Pfahlrost, der auf der andern Seite gewählt werden musste, hier nicht nöthig schien. Es wurde eine Lage Halbholz von 6 Zoll Stärke dicht schliessend auf der geebneten Baugrube verlegt und zwar so, dass die einzelnen Stücke die Axe der Brücke unter einem Winkel von 45 Graden schnitten; hierüber kam aber eine ganz gleiche Lage, welche die erstere unter einem rechten Winkel kreuzte. Beide wurden durch eiserne Nägel mit einander verbunden und eine Spundwand umgab sie auf der dem Flusse zugekehrten Seite.

Auch bei anderen grösseren Bauten in England hat man den liegenden Rost angewendet, man ist indessen in neuerer Zeit dort sehr misstrauisch dagegen geworden und giebt einer Fundirung auf Béton unbedingt den Vorzug. Es leidet wohl keinen Zweifel, dass die letzte Methode schon während des Bauens eine weit grössere Bequemlichkeit gewährt, indem sie die Quellen abhält und mit dem Mauerwerk in eine innige Verbindung gebracht werden kann; aber ihr Vorzug giebt sich späterhin noch mehr zu erkennen, da der Béton an seiner Festigkeit nichts verliert, wenn auch der Boden umher austrocknen sollte; überdies ist

dabei ein Zusammendrücken gar nicht zu befürchten, welches bei Anwendung des Rostes möglicher Weise nach vielen Jahren noch eintreten kann, denn wenn der Boden schon längst seine Nachgiebigkeit verloren hat, so kann leicht das Holz durch die Berührung des Wassers endlich so weit geschwächt sein, dass es nunmehr noch anfängt zu weichen und dadurch Veranlassung zu neuen Bewegungen giebt.

Bei dem liegenden Roste, wie man ihn in Frankreich anwendet, befinden sich gewöhnlich die Rostschwellen unten und die Zangen liegen darüber, die Zwischenräume zwischen den letztern werden mit Bohlen ausgefüllt und diese fallen entweder mit der Oberfläche der Zangen in eine Ebene, oder sie liegen darunter, jenachdem man die Zangen und Querschwellen mehr oder weniger tief in einander eingelassen hat. Bei uns pflegt man die Fläche, worauf die Mauer aufgeführt werden soll, immer möglichst eben darzustellen und man lässt daher auch beim Pfahlroste die Zangen gewöhnlich nicht über den Bohlenbelag vorstehen. Der Grund dafür ist der, dass hierbei schon die untern Schichten der Mauer ohne Unterbrechung und in gleicher Höhe aufgeführt werden können; diese Rücksicht ist indessen wohl nicht wesentlich, wenn man nur dafür sorgt, dass bei Anwendung geformter Steine die obere Fläche der Zangen mit einer gewissen Anzahl von Schichten genau erreicht wird und alsdann die folgende Schicht darüber fortläuft. Bei der so sehr mangelhaften Verbindung, die zwischen dem Bohlenbelage und dem Mauerwerke erreicht werden kann, dürfte es wohl nur vortheilhaft sein, durch dergleichen Unebenheiten noch ein etwas stärkeres und innigeres Eingreifen zu bewirken. Demnächst kommen bei den liegenden Rosten in Frankreich noch manche andere Abweichungen vor, wie die Einfassungen in Rahmen, wovon bei Gelegenheit der Pfahlroste die Rede sein wird, und zuweilen lässt man den Rost auch nur aus den Schwellen und dem Bohlenbelage bestehen; eine eigenthümliche Abänderung beruht aber noch darin, dass man zuweilen sogar den ganzen Bohlenbelag fortlässt. Schon Bélidor *) bemerkt, dass, wenn man die Rostfelder bis zum Bohlenbelage ausmauert, wie er dieses für nothwendig hält, und wenn man über dem Bohlenbelage wieder

*) *Science des Ingénieurs.* Buch III. Cap. 9.

mauert, dass alsdann der Bohlenbelag selbst sehr überflüssig sei. Sganzin meint gleichfalls, dass der Bohlenbelag nur den Verband des Mauerwerks unterbricht und daher die Festigkeit beeinträchtigt. Die Fortlassung der Bohlen scheint in der That nicht unpassend zu sein, obgleich man dadurch sich der Gefahr aussetzt, dass von dem Mauerwerk einzelne Theile sich lösen und durch die Rostfelder hindurchdringen können; dieses wäre jedoch immer nur während des Baues zu besorgen und durch ein gehöriges Ausmauern der Rostfelder lässt es sich auch vollständig vermeiden. Fig. 140 *a* und *b* zeigt im Grundrisse und Querschnitte den Rost eines Durchlasses, der auf diese Art angeordnet ist und wobei einzelne Zangen durchgehen, welche beide Widerlager mit einander verankern. *)

Eine andere Methode zur Verbreitung der tragenden Fläche des Fundamentes, wodurch man gleichfalls das Einsinken einzelner besonders nachgiebiger Stellen verhütet und den Druck, der auf solche trifft, auf die festeren Umgebungen überträgt, besteht in der Anwendung starker Sandschüttungen. Man hat dieses Verfahren in Frankreich vielfach und seit längerer Zeit angewendet, in Surinam sollen aber alle Gebäude auf diese Art fundirt werden und die Erfahrung scheint zu zeigen, dass der Zweck des liegenden Rostes (mit Ausschluss der erwähnten Verankerungen) dadurch vollständig erreicht wird; es ergeben sich dabei aber noch die beiden sehr wichtigen Vortheile, dass einmal die Sandschüttung beinahe unter allen Umständen viel wohlfeiler und leichter darzustellen ist, als der liegende Rost, und sodann auch, dass die Fundirung keineswegs so tief zu sein braucht, dass sie immer unter dem niedrigsten Grundwasser bleibt, denn die Festigkeit der Sandablagerung leidet durchaus nicht, wenn sie auch abwechselnd nass und trocken wird; es kommt nur darauf an, sie vor der unmittelbaren Berührung des strömenden Wassers zu sichern. Inwiefern die Sandschüttung die erwähnte Vertheilung des Druckes bewirkt und das Einsinken einzelner besonders stark belasteter oder besonders schwach unterstützter Stellen hinreichend verhütet, wird sich am deutlichsten ergeben, wenn ich einige

*) Entnommen aus der *Récueil de dessins rélatifs à l'Art de l'Ingénieur. Collection I.*

Resultate der von mir über den Druck und die Reibung des Sandes angestellten Untersuchungen mittheile. *)

Der horizontale Druck, den eine Sandschüttung gegen eine verticale Wand ausübt, ist dem Quadrate der Höhe der Schüttung gegen die Wand proportional, dabei wird vorausgesetzt, dass die Oberfläche horizontal abgeglichen ist und dass die Wand, welche den fraglichen Druck erfährt, bis zu dieser Oberfläche heraufreicht. Dieses Resultat der Beobachtungen, welches mit der statischen Untersuchung genau übereinstimmt, ist auch sonst zur Bestimmung des Druckes gegen Futtermauern zum Grunde gelegt worden, doch ist der Druck selbst wirklich bedeutend geringer, als man anzunehmen pflegt. Die Modification der gewöhnlichen Formel soll bei Gelegenheit der Stabilität der Futtermauern entwickelt werden. Hier will ich nur anführen, dass dieser horizontale Druck gleich ist

$$\tfrac{1}{2} a^2 b \gamma A$$

wo a die Höhe der Wand, b deren Breite, γ das Gewicht der Raumeinheit des Sandes und A eine Constante bedeutet, deren Werth von der Natur des Sandes abhängt; für die Sorte Sand, die ich anwendete und die ein sehr gleichmässiger, ganz trockner reiner und schwarzer Streusand war, betrug A sehr nahe 0,25.

Dieser Druck ist beinahe ganz unabhängig von der Breite der Sandschüttung, er giebt sich fast in gleichem Werthe zu erkennen, wenn eine weit ausgedehnte Sandschüttung gegen die Wand drückt, oder wenn eine zweite Wand so nahe dahinter ist, dass nur eine geringe Anzahl von Sandkörnchen hinter einander liegen. Die Beobachtung ergab dieses Resultat, und es erklärt sich auch, wenn man die Bewegung etwas näher betrachtet, welche der Sand bei einem geringen Fortrücken der Wand macht.

Füllt man nun eine senkrechte cylindrische Röhre, deren Radius gleich r ist, mit Sand an, so wird der horizontale Druck des Sandes gegen die Röhrenwände im Ganzen betragen

$$r \pi \gamma a^2 A$$

und dieser Druck bedingt eine gewisse Reibung, welche einen Theil vom Gewichte des Sandes aufhebt; bezeichnet man letztere durch $\frac{1}{v}$, so wird der Boden der Röhre nicht mehr das ganze

*) Poggendorff's Annalen. Band 28.

Gewicht der darin befindlichen Sandmasse tragen dürfen, welches gleich

$$r^2 \pi \gamma a$$

ist, sondern nur die Differenz beider, oder

$$r \pi \gamma a \left(r - \frac{a A}{v}\right)$$

Es würde hieraus folgen, dass der letzte in der Parenthese eingeschlossene Factor für eine gewisse Höhe der Aufschüttung gleich Null und für eine noch grössere Höhe sogar negativ wird, das heisst, die Reibung des Sandcylinders soll unter gewissen Umständen nicht nur den Druck auf dem Boden vollständig aufheben, sondern denselben auch noch mit einer solchen Kraft zurückhalten, dass ein daran gehängtes Gewicht davon getragen wird. Dieser Schluss ist indessen nur eine Folge davon, dass auf die Trennung der Sandtheilchen, die in jeder Richtung und an jeder Stelle immer erfolgen kann, in der Rechnung nicht Rücksicht genommen ist; die untere Sandschicht kann sonach durch die Reibung, welche die oberen Schichten erfahren, nicht zurückgehalten werden und sie drückt daher fortwährend den Boden. Der Erfolg ist auch wirklich dieser, dass wenn man in der cylindrischen Röhre Anfangs eine sehr niedrige Sandschüttung anbringt und diese nach und nach erhöht und dabei jedesmal den Druck beobachtet, den der Boden erleidet, so wird der Druck Anfangs dem Gewichte des Sandes gleich sein, er wird aber später in einem geringeren Maasse zunehmen, als dieses Gewicht, und zwar wird die relative Vergrösserung desselben immer abnehmen, bis sie zuletzt gleich Null wird. Sobald man diese Grenze erreicht hat, so wird gar keine Zunahme des Druckes noch ferner stattfinden, wie hoch man auch die Aufschüttung fortsetzen und welche andere Belastung man auf dem Sande auch noch anbringen mag. Die Erfahrung bestätigte dieses vollständig; ich nahm einen Glascylinder, dessen Radius gleich 1,02 Zoll maass und befestigte ihn in einer verticalen Stellung, in der Art, dass die obere und untere Oeffnung frei blieb, alsdann nahm ich eine ebene Scheibe, welche die untere Oeffnung schloss, hing sie an einem Waagebalken und brachte sie durch Gegengewicht in der Schale am andern Arme ins Gleichgewicht. Nunmehr füllte ich Sand in die Röhre ein, so dass die Höhe der Schüttung oder a verschiedene Werthe annahm und eine Sandschüttung in der andern Schale

hob jedesmal im Anfange der Beobachtung den Druck auf den Boden der Röhre vollständig auf; eine feine Oeffnung im Boden der Waageschale liess indessen diesen Sand (der also das Gegengewicht bildete) langsam ausfliessen, so dass eine sehr sanfte Verminderung des Gegendruckes erfolgte, bis endlich der Boden der Röhre nicht mehr gehörig unterstützt war und er plötzlich herabfiel. In demselben Momente, wo dieses geschah, wurde der fernere Ausfluss des Sandes aus der Schale gehemmt und das Gewicht des noch zurückgebliebenen Theiles desselben ergab die Stärke des Gegendruckes für die Zeit, wo der Druck auf den Boden das Uebergewicht erhielt; hiernach konnte man also den Druck selbst sehr sicher bestimmen, ohne die Waage berühren und die Gewichte durch Abheben und Zusetzen verändern zu dürfen. Es war aber auch nöthig, dieses zu vermeiden, indem die geringsten Erschütterungen gleich sehr bedeutende Abweichungen hervorbrachten, sowie denn überhaupt diese Beobachtungen keine grosse Schärfe zulassen, woran die unvermeidliche Ungleichmässigkeit des Materials Schuld sein mag. Die Resultate waren folgende:

für $a=1$ Zoll,	betrug der Druck	7,9	Loth
- $a=2$ -	- - -	14,8	-
- $a=3$ -	- - -	18,7	-
- $a=4$ -	- - -	22,1	-
- $a=5$ -	- - -	20,5	-

Um die Beobachtungen mit der Rechnung vergleichen zu können, hatte ich zunächst durch andere directe Messungen den Werth der Reibung des Sandes gegen Glas bestimmt und dieselbe (oder $\frac{1}{v}$) gleich 0,48 gefunden, ferner wog der Cubikzoll Sand (oder γ) 2,82 Loth, und endlich war A, wie bereits erwähnt, 0,25. Hiernach giebt die obige Formel

für $a=1$	den Druck	$=$ 8,13	Loth
- $a=2$	- -	$=$ 14,07	-
- $a=3$	- -	$=$ 17,80	-
- $a=4$	- -	$=$ 19,34	-

und bei $a=4{,}2$ erreicht der Druck schon sein Maximum und beträgt 19,38 Loth.

In derselben Art stellte ich demnächst auch mit einer engeren Glasröhre noch Beobachtungen an; ihr Radius mass 0,57 Zoll,

und um dabei nicht zu kleine Gewichte zu erhalten und zugleich einige Abänderung in die Versuche zu bringen, so füllte ich die Röhre diesesmal mit feinem Schrote an. Für letzteres hatte ich durch andere Messungen gefunden

$$\gamma = 8{,}245$$
$$\frac{1}{v} = 0{,}45$$
$$A = 0{,}30$$

Die hiernach angestellten Berechnungen, sowie die Beobachtungen ergaben den Druck auf den Boden

	nach der Beobachtung	nach der Rechnung
für $a = 0{,}4$ Zoll	3,1 Loth	3,05 Loth
- $a = 0{,}9$ -	5,1 -	5,95 -
- $a = 1{,}1$ -	5,9 -	6,83 -
- $a = 1{,}5$ -	7,0 -	8,02 -
- $a = 1{,}8$ -	8,0 -	8,67 -
- $a = 2{,}3$ -	8,0 -	8,85 -
- $a = 2{,}9$ -	8,4 -	8,85 -
- $a = 5{,}0$ -	8,0 -	8,85 -
- $a = 8{,}5$ -	8,3 -	8,85 -

Das Maximum des Druckes trat diesesmal nach der Rechnung bei einer Höhe der Schüttung von 2,13 Zoll ein und betrug 8,85 Loth.

Die hier nachgewiesene Uebereinstimmung der Resultate bestätigt die Richtigkeit der gegebenen Erklärung, denn die Abweichungen liegen durchaus innerhalb der Grenzen der Beobachtungsfehler, die hier viel grösser ausfallen, als sie etwa bei Beobachtungen über die Bewegung des Wassers zu sein pflegen.

Um nun aber von der gegebenen Formel auf den vorliegenden Fall eine Anwendung machen zu können, so muss bemerkt werden, dass, wenn unter einer ausgedehnten Sandschüttung ein Theil des Bodens schwächer unterstützt wäre, als die gleichmässige Vertheilung des Druckes es bedingt, dass alsdann diese Stelle nicht gleich einsinken wird, sondern ein Theil des darauf treffenden Druckes sich seitwärts durch die Reibung überträgt und der Boden hier wieder nur die Differenz zwischen dem darüber befindlichen ganzen Gewichte und der Reibung unterstützen darf. Wenn sonach in einem Gefässe, welches bis zur Höhe a mit Sand gefüllt ist, ein kreisförmiger Theil des Bodens, dessen Radius

gleich r ist, beweglich wäre, so würde auf diesen bei gleichmässiger Vertheilung zwar der Druck

$$r^2 \pi \gamma a$$

treffen, allein wenn die kreisförmige Scheibe auch nur mit einer Kraft

$$r^2 \pi \gamma a - \frac{1}{v} r \pi \gamma a A$$

Widerstand leistete, so würde dennoch keine Bewegung erfolgen. Es beträgt nun der Reibungs-Coefficient zwischen Sand und Sand (für die von mir benutzte Sorte desselben) 0,53; und es ergiebt sich im Allgemeinen diejenige Höhe der Aufschüttung, wobei der Druck auf dem Boden sein Maximum erreicht

$$a' = \frac{v r}{2 A}$$

daher in diesem Falle

$$= 3{,}77 . r$$

Der grösste Druck, dem also die bewegliche Stelle ausgesetzt ist, würde ungefähr dem Gewichte eines Sandcylinders gleichkommen, welcher ihre Fläche zur Basis und ihren Durchmesser zur Höhe hat; es stellt sich dieser Druck aber ein, sobald die Sandschüttung doppelt so hoch als dieser Durchmesser ist; wenn die Sandschüttung noch weiter erhöht, oder durch andere Gewichte ausserdem belastet wird, so erfolgt wieder kein Herabdrücken des beweglichen Theiles im Boden, denn jede Mehrbelastung überträgt sich vermöge der Reibung des Sandes auf die umgebende Sandmasse.

Diese merkwürdige Eigenschaft der trocknen Sandschüttung ist auch sonst bemerkt worden. Im Jahre 1829 machte Huber-Burnand die Entdeckung bekannt, dass die Sandmasse, welche durch eine Oeffnung am Boden eines Gefässes ausfliesst, von der Druckhöhe ganz unabhängig ist. Diese Erscheinung erklärt sich vollständig durch die obige Herleitung. Später stellte Niel *) Versuche in grösserem Maassstabe über den Druck an, welchen Sandmassen auf eine Oeffnung im Boden von Gefässen ausüben und gelangte dabei zu Resultaten, welche sich ungefähr an die von mir gefundenen anschliessen, da jedoch die Specialien nicht vollständig mitgetheilt sind, so lässt sich der Vergleich nicht scharf durchführen. Niel erklärt die Verminderung des Druckes,

*) *Annales des ponts et chaussées.* 1835. *II.* *p.* 192.

die sich bei grösseren Höhen der Schüttung zu erkennen giebt, durch die Bildung von Gewölben in dem Sande; es lässt sich indessen durch eine solche Vorstellungsart die Erscheinung nicht weiter verfolgen und ausserdem ist diese Ansicht auch gewiss nicht richtig, denn die Sandkörnchen lagern sich beim Niederfallen nur in der Art, dass sie alle senkrecht unterstützt sind, aber keineswegs werden sie in jeder Richtung, wie die Steine eines Gewölbes, sich gegen einander lehnen, wodurch sie gleich den Druck aufheben, der irgend eine freiwerdende Oeffnung im Boden trifft; wenn die Bildung eines Gewölbes hier überhaupt denkbar wäre, so könnte sie erst eintreten, nachdem beim Ausweichen der darunter befindlichen Sandmasse die betreffenden Theilchen zusammengerückt sind, und man könnte hierin allenfalls den Grund suchen, weshalb bei dem Durchfliessen des Sandes die grössere Druckhöhe ihren Einfluss verliert, keineswegs aber kann dieser Umstand schon die Verminderung des Druckes auf einzelne Stellen des Bodens erklären, welche sich doch bereits vor dem Eintritte der Bewegung zu erkennen giebt.

Aus dem Angeführten rechtfertigt es sich, dass eine Sandschüttung, wie Fig. 141 angegeben ist, die Stelle des liegenden Rostes versehen kann, sie wird zwar keineswegs einer Senkung überhaupt, oder auch nur einer ungleichmässigen Senkung vorbeugen, was man vom liegenden Roste gleichfalls nicht erwarten darf, aber sie wird eine feste Sohle der Baugrube darstellen, worauf man die Fundamentmauer aufführen kann, ohne die einzelnen Steine derselben der Gefahr auszusetzen, dass sie ungleichmässig versinken, und wenn überdies der Grund an einzelnen Stellen besonders weich oder die Belastung sehr gross sein sollte, so wird der Druck sich nach Maassgabe der Tragfähigkeit des Bodens sehr gleichmässig vertheilen und dadurch ein theilweises Einsinken innerhalb gewisser Grenzen sehr sicher vermieden werden. Die Wohlfeilheit und Dauerhaftigkeit der Sandschüttung ist bereits erwähnt worden, sie gewährt aber noch einen andern Vortheil, dass sie sich nämlich sehr fest lagert und alle Unebenheiten der Baustelle sehr genau ausfüllt, begiesst man sie aber recht stark mit Wasser, welches sich von oben nach unten durch sie hindurchziehen muss, so wird sie um so compacter und man darf noch weniger ein Setzen des Sandes befürchten.

Soviel bekannt ist, wurden die ersten Versuche dieser Fundirungsart bei dem Canale St. Martin in Paris gemacht. *) Die Kaimauern längs diesem Canale stellte man, soviel es möglich war, unmittelbar auf den Kalkstein, den man gewöhnlich in einer nicht gar zu grossen Tiefe antraf, doch zuweilen konnte man ihn nicht erreichen und man war alsdann gezwungen, die Mauer auf den aufgeschütteten und grossentheils sehr ungleichmässigen und losen Grund zu stellen; in diesem Falle sah ich (1823), wie man den Fundamentgraben in der Sohle fest anstampfte und darüber eine Sandschüttung von 1 Meter Höhe aufbrachte, worauf alsdann die Mauer unmittelbar aufgeführt wurde. **) Im Jahre 1830 stellte man ganz auf dieselbe Art die Säulen der Vorhalle des Wachtgebäudes zu Bayonne auf Sandschüttungen, und im folgenden Jahre wurde ebendaselbst diese Fundirungsart beim Bau eines Bastions auf aufgeschüttetem, sehr weichem Boden wiederholt. Der letzte Versuch zeigte ein sehr starkes und ungleichmässiges Setzen, was indessen davon herrührte, dass der lose Untergrund nicht überall gleich mächtig war; an der einen Seite berührt die Sandschüttung beinahe den gewachsenen Boden, während sie auf der andern etwa 5 Fuss davon entfernt blieb, und so geschah es denn, dass sie dort gar nicht und hier sehr stark sank, was offenbar bei einem liegenden Roste auch der Fall gewesen sein würde. In und bei Paris sind seitdem noch vielfache Anwendungen dieser Fundirungsart gemacht worden, eine der wichtigsten unter denselben kam bei der Erbauung des Hauses eines Canalwärters im sumpfigen Thale der Beuvronne vor, wo der Boden aus Torf bestand; man brachte hier sogar eine 2 Meter hohe Sandschüttung auf, welche das Gebäude auch ohne alle Spuren einer ungleichmässigen Senkung trug. In andern Fällen versuchte man es, der Sandschüttung durch Uebergiessen mit Kalkmilch eine grössere Cohäsion zu geben; inwiefern dieser Zweck wirklich erreicht sein mag, ist nicht bekannt geworden, da es aber bei Ausführung von grossen Bauten auf einem natürlichen reinen Sandboden sich zuweilen ereignet, dass das Kalkwasser,

*) *Sur la fondation sur sable. Note par Devilliers. Annales des ponts et chaussées.* 1835. *II. p.* 404.

**) Beschreibung neuerer Wasserbauwerke. S. 169.

welches zufälliger Weise verschüttet wird, den Sand zu einer festen Masse verbindet, so mag in manchen Fällen und besonders da, wo man besorgen darf, dass starke Wasseradern sich durchziehen können, dieses Verfahren ganz angemessen sein; jedenfalls bildet diese Modification schon den Uebergang zu den Fundirungen in Béton.

Man hat von den Sandschüttungen noch eine andere Anwendung gemacht, die freilich nicht mehr dem liegenden, sondern vielmehr dem Pfahlroste entspricht, die jedoch mit dem Vorstehenden so nahe zusammenhängt, dass davon hier am passendsten die Rede sein wird. Die Bauten im Arsenale zu Bayonne verlangten wegen des losen Untergrundes einen Pfahlrost, und da man denselben nicht tief genug legte, so geschah es, dass die Pfähle und Schwellen mit der Zeit abgängig wurden und sie daher nicht die Sicherheit gewährten, die man davon erwartet hatte. Dazu kam noch, dass das Holz für die Pfähle sehr theuer war, und so machte man denn den Versuch, diese Pfähle, nachdem sie eingerammt waren, wieder herauszuziehen und die Löcher, worin sie gesteckt hatten, mit Sand auszufüllen. Aus Furcht, dass der Sand zu weit versinken möchte, schlug man aber noch mittelst hoher Aufsetzer Pfahlspitzen hinein, auf welchen also der Sand auflag; auf die in solcher Art gebildeten Sandcylinder stellte man unmittelbar das untere Banket der Mauern, wie dieses Fig. 142 zeigt. *) Dasselbe Verfahren hat man auch später benutzt, jedoch mit dem Unterschiede, dass man das Eintreiben der Pfahlspitzen unterliess und statt des Sandes förmlichen Béton anwendete, den man fest einstampfte.

Gegen diese Darstellung von Sandsäulen lässt sich wohl Manches erinnern, denn obgleich sie eine etwas festere Unterstützung gewähren mögen, als wenn man die Mauern unmittelbar auf den nachgiebigen Boden stellt, so können sie doch kaum vor der einfachen Sandschüttung einen Vorzug haben. Der Vortheil der Wohlfeilheit verschwindet hierbei aber in hohem Maasse und unter den meisten Verhältnissen wohl ganz, indem die Arbeit des Rammens gewöhnlich beinahe eben so theuer ist, als der Ankauf der Pfähle, und das Arbeitslohn für das Ausziehen der-

*) *Annales des ponts et chaussées.* 1835. *II. p.* 172.

selben kommt ihrem Werthe zuweilen auch schon sehr nahe. Die Sandsäulen werden aber wegen ihrer verhältnissmässig sehr grossen Oberfläche sich kaum so fest darstellen lassen, dass sie bei der daraufkommenden Belastung nicht eingedrückt würden, und indem sie alsdann ihren Durchmesser vergrössern, so drängen sie sich in den umgebenden Boden hinein. Dieser Umstand dürfte immer noch als kein Nachtheil angesehen werden, wenn zu hoffen wäre, dass diese Veränderungen recht bald eintreten und daher die Zeit, während welcher der Bau herabsinkt, sich möglichst verkürzt, oder dass vielleicht schon während der Aufführung des unteren Bankettes das Setzen der Erde ganz aufhörte. Es muss indessen bezweifelt werden, dass dieses wirklich der Fall ist. Wenn man aber statt des Sandes Béton anwendet, der zwar unter einem geringen Drucke nicht nachgiebt, der aber doch keineswegs so fest ist, dass ein Brechen ganz unmöglich bleibt, so scheint es, dass dadurch die Sicherheit der daraufstehenden Mauer wirklich beeinträchtigt wird.

Endlich muss hier noch von den Steinschüttungen die Rede sein, die man zuweilen auch anwendet, um grosse Bauwerke darauf zu stellen, sie finden indessen nicht sowohl bei einem losen und nachgiebigen Baugrunde ihre Anwendung, als vielmehr da, wo die Wassertiefe sehr gross ist und der Wellenschlag jede andere Fundirungsart, als das Versenken der Steine, unmöglich macht. Die wichtigsten Beispiele dieser Art sind bei Seehäfen vorgekommen; so wurde der Damm, der die Rhede von Cherbourg sichert, durch eine lose Steinschüttung gebildet, doch zeigten die eben daselbst gemachten Erfahrungen, dass solche Werke, wenn sie einem starken Wellenschlage ausgesetzt sind, keinen sichern Untergrund bilden, denn die in der Mitte dieses Dammes angelegte Batterie wurde nach wenig Jahren bei einem heftigen Sturme vollständig zerstört. In welcher Art man durch Anwendung von grossen Steinen und durch recht flache Dossirungen dergleichen Steinschüttungen gegen den Wellenschlag sichern kann, soll später bei Gelegenheit der Seeufer- und Hafenbauten auseinandergesetzt werden. Es ist aber hier zu erwähnen, dass man zuweilen auch grosse Bauwerke auf regelmässig versenkte Steinblöcke fundirt hat.

Ein Fall dieser Art kam bei Inverness vor; man wollte daselbst einen Hafendamm (*Pier*), der zum Anlegen der Schiffe

bestimmt war, im Ness-Flusse erbauen, und indem die Geldmittel ziemlich beschränkt waren, so schlug Telford die folgende eigenthümliche Construction vor, die auch wirklich gewählt wurde. Das Flussbette, welches 4 Fuss unter den niedrigsten Ebben lag, bestand aus einer festen Ablagerung von grobem Kies und Klai, und der Hafendamm, an dessen innerer Seite die Schiffe, vor dem Wellenschlage gesichert, zur Zeit des Hochwassers anlegen sollten, erhielt die Länge von 160 Fuss und die Breite von 8 Fuss. Der Anfang wurde damit gemacht, dass man in der Richtung des Dammes das Bette 2 Fuss tief ausbaggerte; alsdann wurden an jeder Seite in 20 Fuss Abstand von einander schwache Pfähle von 12 Fuss Länge eingerammt, und je zwei gegenüberstehende Pfähle verband man in der Höhe der gewöhnlichen Ebben durch seitwärts angenagelte Bohlen und schnitt die vorstehenden Pfahlköpfe ab. Sodann nagelte man nach der Länge der Pfahlreihen auf die erwähnten Bohlen Halbhölzer auf, welche die Holme für die Pfahlreihen bildeten. An der innern Seite dieser Holme rammte man endlich mit weiten Zwischenräumen von 10 bis 12 Zoll schlechte Dielen ein, die nur wenige Zolle tief in den Boden eindrangen. Auf solche Art war der ganze Raum, der massiv ausgemauert werden sollte, umschlossen, und nunmehr versenkte man darin die regelmässig bearbeiteten Steine, indem man sie möglichst genau schliessend an einander stellte und durch Abwechselung der Fugen auch für einigen Verband sorgte. Das Versenken geschah mittelst der später zu beschreibenden Vorrichtung, der Wolf genannt, wodurch jeder Stein nur in seiner Oberfläche gefasst und selbst unter Wasser leicht gelöst werden kann. Nachdem mehrere Schichten grosser Werkstücke so versetzt waren, erreichte man den Wasserstand der Ebbe und der folgende Theil des Baues wurde als gewöhnliches Mauerwerk in Mörtel ausgeführt. Im Jahre 1815 hatte man den Damm erbaut, und das Werk hielt sich so gut, dass vier und zwanzig Jahre später noch keine Spur von einer Beschädigung sich darin zu erkennen gab. *)

Für den Hafendamm bei Ardrossan wählte Telford eine etwas

*) *Theory, practice and architecture of bridges. Sect. VI. p.* 17. Daselbst ist auch der Hafendamm bei Ardrossan beschrieben.

abweichende Fundirungsart; die Unebenheiten, welche der Felsboden hier zeigte, wurden durch Schichten von aufrechtgestellten Steinblöcken von 6 bis 10 Fuss Höhe und 3 Fuss Breite ausgeglichen. Diese Blöcke versetzte man mit der Teufelsklaue unter Wasser und zwar so, dass sie sämmtlich sich gegen einander lehnten und desshalb eine schräge Stellung erhielten; von aussen umgab sie eine Schüttung grosser Steine.

Für Bauten, welche vor dem Wellenschlage geschützt sind, ist die Fundirung durch Steinschüttung nicht leicht angewendet worden, da in diesem Falle auch ein leichteres Material schon die nöthige Sicherheit gewährt. Ein hierher gehöriges Beispiel ist indessen die Strasse, welche den weiten Busen des Flusses Blackwater bei Youghal auf der südlichen Küste von Irland durchschneidet. *) Auf dem flachen Sandgrunde, der sich ungefähr bis zur Höhe der Ebben erhebt, wurden da, wo die Brücke beginnt und sonach eine starke Strömung vorbeigeht, zu beiden Seiten der Strasse etwa 6 Fuss hohe Steinschüttungen auf 25 Fuss Breite angebracht; man beschwerte sie noch mit dem Steinmateriale, welches man für den Bau brauchte, und sie versanken beinahe ganz in dem Untergrunde, worauf man alsdann die beiden Einfassungsmauern des 25 Fuss hohen Strassendammes darüber aufführte.

Dass man auf einem weichen thonigen Untergrunde zuweilen eine Lage von Steinen aufbringt, die gewöhnlich jedoch nur 3 bis 4 Zoll im Durchmesser haben, und dieselben recht fest einrammt, ist bereits erwähnt worden. Es findet hierbei indessen auch eine Verbreitung der tragenden Fläche statt, wenn das Pflaster vor den beiden Seiten des Fundamentes vortritt, und es geschieht auch, dass man mehrere solche Steinschichten möglichst geschlossen über einander legt, sie jedesmal fest einrammt und die Fugen mit Sand ausfüllt, worauf man endlich durch Einschlämmen von Sand noch diejenigen Räume zu dichten sucht, die vielleicht offen geblieben waren. **) Es ist nicht zu vermuthen, dass diese Methode einen Vorzug vor der oben beschriebenen Sandschüttung haben sollte.

*) *Transactions of the Institution of Civil Engineers. Vol. II. pag.* 157 ff.

**) Crelle's Journal, Bd. III. S. 484.

§. 35.

Der Pfahlrost.

Der Pfahlrost findet seine eigentliche Anwendung in dem Falle, wenn der Boden, welcher mit Sicherheit das Gebäude tragen kann, sich nicht so hoch erhebt, dass man ihn unmittelbar mit dem Fundamente erreichen könnte, sondern er noch durch eine lose Erdschicht bedeckt wird, welche keinen sichern Baugrund bildet. Indem die Pfähle die letztere durchdringen und mit ihrem Fusse auf der festen Schicht aufstehen, oder auch in dieselbe hineingreifen, so übertragen sie auf diese den Druck des Gebäudes und dasselbe erhält dadurch eine sichere Unterstützung. Häufig wendet man indessen den Pfahlrost auch da an, wo der Baugrund durchweg von einer gleichmässigen Beschaffenheit ist, oder wo die Spitzen der Pfähle keine festeren Schichten erreichen, als diejenigen sind, welche sie bereits durchdrungen haben; in diesem Falle kann nur die Reibung, welche das umgebende Erdreich seitwärts gegen die Pfähle ausübt, die Vermehrung des Widerstandes erzeugen, und man pflegt aus der Leichtigkeit, womit der Pfahl unter der Ramme eindringt, auf die Grösse der Last zu schliessen, welche man darauf bringen kann. Im Folgenden wird die Tragfähigkeit der Grundpfähle näher untersucht werden, zunächst aber muss die Anordnung des Pfahlrostes im Allgemeinen und seine Construction beschrieben werden.

Es tritt bei dem Pfahlroste dieselbe Bedingung ein, welche für den liegenden Rost bereits angeführt ist, dass er nämlich immer unter dem Grundwasser sich befinden muss. Man weicht von dieser Regel zuweilen insofern ab, als man annimmt, dass der Boden umher, wenn er vor dem Zutritte der Luft geschützt ist, nicht so schnell austrocknet und dass dieses namentlich von einer zähen thonigen Erde mit Gewissheit erwartet werden darf. Ein Beispiel hiervon giebt die in der neuesten Zeit erbaute Victoriabrücke über den Fluss Wear auf der Durham-Verbindungseisenbahn, wo man den Pfahlrost des linkseitigen Widerlagspfeilers für den 100 Fuss gespannten Bogen auf dem hohen Ufer etwa 50 Fuss über dem Wasserspiegel angebracht hat. Dergleichen Abweichungen haben indessen häufig sehr unangenehme Verlegenheiten herbeigeführt, und vielfach ist es geschehen, dass

Gebäude allein aus diesem Grunde abgetragen werden mussten. Die Vergänglichkeit eines solchen Rostes zeigt sich aber nicht nur in einem leichten Boden und in grosser Höhe über dem Wasser, sondern zuweilen auch an solchen Stellen, wo ein vollständiges Austrocknen des umgebenden Grundes nie stattfinden kann; in dem sumpfigen aufgeschwemmten Boden einer Niederung und zwar in der Tiefe von 8 Fuss unter der Oberfläche des Terrains und nur in geringer Höhe über dem Wasserspiegel des nahegelegenen Flusses, sah ich das Holz eines Rostes vollständig verzehrt, so dass man leicht mit einem Stocke hindurchstiess. Wenn es sich aber trifft, dass man bei einem alten Gebäude eine solche unpassende Lage des Rostes entdeckt, die seine Zerstörung in Kurzem erwarten lässt, so muss man Sorge tragen, durch eine dichte Umgebung mit fetter Thonerde ihn möglichst sicher zu stellen; es ereignet sich dieser Fall nicht selten bei den Fundamenten der Brückenpfeiler, und man pflegt in solchem Falle durch Spundwände ringsumher einen Kasten darzustellen, der mit einem Thonschlage ausgefüllt wird. Es mag hier auch noch die Erfahrung erwähnt werden, die man in Bayonne gemacht hat und die eben zu der früher erwähnten Anwendung des Sandes Veranlassung gab; die Rostschwellen von Kiefernholz hatten, obgleich sie in der Höhe des mittleren Wasserstandes lagen und einen Fuss stark waren, doch so gelitten, dass sie beim Aufschlagen mit einer schlechten Axt in eine Menge Splitter zerbrachen, und kleine fichtene Pfählchen, die wahrscheinlich zur Befestigung des Grundes eingetrieben waren, konnte man mit dem Spaten durchstechen. Nach diesen Erfahrungen, die sich übrigens oft genug wiederholen, darf man wohl annehmen, dass es jedesmal ein sehr gewagter Versuch ist, einen Rost, der über dem niedrigsten Wasserstande liegt, beständig nass zu erhalten und ihn vor Fäulniss oder vor Verrottung zu sichern. Bei Neubauten muss es daher immer als Regel gelten, eine solche Gefahr gar nicht eintreten zu lassen und den Rost so tief zu legen, dass er unter allen Umständen stets vom Grundwasser bedeckt bleibt. Die Holzart, die hierbei vorzugsweise gewählt wird, ist Kiefernholz, doch ist auch die Anwendung des Eichenholzes, wo dasselbe wohlfeil zu haben ist, nicht ungewöhnlich, sowie man auch Ellern- und jedes andere feste Holz dabei zuweilen benutzt.

Es ist schon früher (§. 33) darauf aufmerksam gemacht worden, dass jedes Fundament in derjenigen Richtung den hinreichenden Widerstand leisten muss, in welcher der Druck dagegen ausgeübt wird. Diese Regel findet eine ganz besondere Anwendung auf den Pfahlrost, und namentlich in dem Falle, wenn die Pfähle den festen Grund nur mit der Spitze erreichen und mit dem grössten Theile ihrer Länge in einem mehr nachgebenden Boden stehen, oder wenn sie vielleicht sogenannte Langpfähle bilden, welche den Rost weit über dem Boden tragen, wie dieses bei Brücken zuweilen vorkommt. Wie wichtig die Vorsicht in dieser Beziehung ist, hat sich besonders an der bereits erwähnten massiven Brücke über die Loire bei Tours gezeigt; 1765 begann der Bau, 1777 stürzte schon ein Pfeiler ein und man schrieb die Schuld der schlechten Beschaffenheit der Grundpfähle zu, die drei Jahre lang nach der Ablieferung auf dem Bauplatze gelegen hatten. Das wichtigste Ereigniss trat aber im Jahre 1789 ein, nämlich beim Eisgange wurden vier Brückenbögen zerstört; de Cessart sagt, dass der Stoss des Eises sie umgeworfen habe, doch ist dieses nach den Untersuchungen, die Beaudemoulin darüber anstellte *), nicht richtig, denn die Brücke stand noch acht Stunden, nachdem der Eisgang aufgehört hatte, als sie plötzlich etwa auf den dritten Theil ihrer Länge zusammenfiel. Die Ursache davon lag aber in den Rostpfählen, die nicht gehörig unterstützt waren; der feste Felsgrund (ein Tufstein) erreichte hier die grösste Höhe, und um das Einrammen der Pfähle zu erleichtern, hatte man die Baggerung so weit getrieben, dass die Pfähle nur 4 Fuss im aufgeschwemmten Boden steckten, der ihnen allein einige Haltung geben konnte, denn ihre Spitze stand lose auf dem Felsen auf. Einige Ausspühlung, die beim Eisgange auch noch eingetreten sein mochte, raubte ihnen alle Haltung und sie fielen seitwärts um.

Aber selbst bei einem durchweg gleichmässigen Grunde, der also in seinen obern Schichten auch nicht besonders lose sein kann, ist der Widerstand, welchen die Pfähle einem Seitwärtsschieben und einem Verbiegen entgegensetzen, immer ziemlich unbedeutend, und es kommt daher darauf an, einem solchen Er-

*) *Annales des ponts et chaussées* 1839. *II.* p. 86 ff.

folge durch andere Mittel vorzubeugen. Hierher gehört zunächst die möglichst innige und solide Verbindung des ganzen Rostes, und wenn es geschehen kann, auch die gegenseitige Verbindung der verschiedenen Roste, die unter den einzelnen Theilen des Gebäudes liegen. So ist es z. B. sehr vortheilhaft, die Roste unter den beiden Widerlagern eines Bogens mit einander zu verankern. Es können indessen auch in anderer Art Trennungen erfolgen; hierher gehört der Fall, wenn Chausseebrücken, die in sumpfigen Wiesen auf Pfahlrosten erbaut sind, hohe Aufschüttungen tragen, oder solche sich wenigstens an ihre Stirnpfeiler lehnen, wobei ein Auseinanderreissen des Rostes unter dem Pfeiler denkbar und nicht ohne Beispiel ist. Indem die schweren Dämme nämlich in dem Boden einsinken, so drängen sie den weichen Untergrund nach beiden Seiten fort, der daselbst auch oft sehr merklich emporsteigt; indem er aber diese Bewegung von der Mittellinie der Strasse nach beiden Seiten annimmt, so schiebt er auch gegen die Pfähle des Rostes, und es ist schon der Fall vorgekommen, dass eine gewölbte Brücke unter diesen Umständen, ohne sich zu senken und ohne in den Widerlagern zu weichen, ihrer Länge nach spaltete und zwei von einander ganz getrennte Bögen bildete.

Demnächst möchte es in manchen Fällen ganz angemessen sein, zur Seite des Rostes, wo ein Ausweichen zu besorgen ist, Reihen von Pfählen schräge einzurammen, welche die Stelle von Streben vertreten. Man hat dieses Mittel in England mehrfach angewendet, so liess Telford die äussern Pfahlreihen an beiden Seiten der Eingangsschleuse zur St. Katharine's Docke etwa unter einem Winkel von 25 Graden gegen das Loth einrammen.

Endlich aber ist der Fall besonders wichtig, dass manche Theile der Gebäude oder ganze Gebäude schon vermöge ihrer Anordnung einer starken horizontalen Pressung ausgesetzt sind, und da eine solche nicht aufgehoben werden kann und sie folglich auch auf das Fundament übergeht, so genügt es nicht, den Rost normal gegen die Richtung der darauf wirkenden Mittelkraft zu legen (die sich aus den horizontalen und verticalen Pressungen zusammensetzt), sondern die Pfähle selbst müssen auch dieser Kraft parallel eingerammt werden. Man hat in England dieses Verfahren in neuerer Zeit häufig angewendet; so wurden schon die Rostpfähle unter den Stirnpfeilern der Southwark und der

neuen London-Brücke schräge eingerammt und man findet mehrfache Beispiele dafür unter den neuesten englischen Brückenbauten. Für die Roste der Kaimauern, welche durch den Druck der Erde eine horizontale Pressung erleiden, ist die schräge Stellung der Pfähle sogar ganz gewöhnlich geworden. Fig. 143 zeigt die Fundirung des einen Widerlagspfeilers der neuen London-Brücke*) und es muss dabei bemerkt werden, dass die an der innern Seite vorgerammte Spundwand gegen den Lehrbogen verstrebt wird, weil sonst die Gefahr eintreten möchte, dass gleich beim Bau die ersten Schichten des Pfeilers herabgleiten, denn die horizontale Pressung, welche sie dagegen sichert, tritt erst ein, sobald der ganze Bogen geschlossen und ausgerüstet ist. Die Spannung der Bögen dieser Brücke beträgt 130 bis 152 Fuss. Fig. 144 stellt dagegen das Profil der Kaimauer dar, welche die Verbindungsdocke in Hull umgiebt. **)

Was die Construction des Pfahlrostes betrifft, so kommen dabei wieder sehr bedeutende Abweichungen vor. Die Pfähle werden reihenweise eingerammt und sie tragen die darüber gestreckten Rostschwellen, letztere aber pflegt man nicht nur mit dem Bohlenbelage zu bedecken, sondern sie auch durch Zangen unter einander zu verbinden, so dass die einzelnen Schwellen sehr sicher zusammengehalten werden. Fig. 145 zeigt diejenige Anordnung, welche bei uns wohl die gewöhnlichste ist; die Entfernung der Pfahlreihen von einander, und zwar von Mitte zu Mitte gerechnet, beträgt nach dem Gewichte der darauf gestellten Mauern $2\frac{1}{2}$ bis 4 Fuss; die Entfernung der einzelnen Pfähle in jeder Reihe ist aber gewöhnlich etwas grösser. Die Pfähle werden jedesmal mit Zapfen versehen, und um diese genau in gleicher Höhe anzubringen, lässt man das Wasser in der Baugrube so hoch steigen, als die obere Fläche der Zapfen liegen soll; diese Höhe wird an allen Pfählen markirt, und nachdem das Wasser entfernt ist, schneidet man die vorstehenden Enden der Pfähle ab und schnürt darauf die Zapfen von 2 bis 3 Zoll Breite und 6 Zoll Länge ab, und endlich schneidet man sie in einer Höhe von 3 bis

*) *A practical treatise on bridge-building by Cresy.* London 1839.

**) *Transactions of the Institution of Civil Engineers. Vol. I. pag.* 34.

4 Zoll aus. Diejenigen Pfähle, worauf die Schwellen gestossen werden, erhalten aber möglichst lange Zapfen, man giebt denselben nämlich beinahe die ganze Breite des Pfahles zur Länge, damit die Schwellen vor dem Ausweichen nach der Seite gehörig gesichert sind. Diese Schwellen oder diejenigen Verbandstücke, die unmittelbar auf den Pfählen ruhen, pflegt man so anzuordnen, dass sie möglichst viele Pfähle treffen, sie erstrecken sich daher gemeinhin nach der Länge des Baues, woher man sie auch Langschwellen nennt. Man versieht sie nur mit Zapfenlöchern für die Zapfen der Pfähle, ohne sie darauf weiter zu befestigen, indem ein Abheben ganz undenkbar ist. In ihren Stössen kann nicht füglich ein Hakenkamm, wie bei dem liegenden Roste, angebracht werden, weil der Zapfen der Pfähle hier auch gerade hineintritt und sonach diejenige Stelle in der Schwelle, wo gerade die meiste Tragfähigkeit erforderlich ist, nicht gehörig sicher wäre. Bei dem liegenden Roste kommen solche besonders stark belastete Stellen gar nicht vor, indem derselbe an seiner ganzen untern Fläche und selbst gegen den Bohlenbelag unterstützt wird, während beim Pfahlroste die Pfahlköpfe allein die tragenden Flächen bilden und die Schwellen den ganzen Druck der Mauer auf diese übertragen. Aus diesem Grunde werden die Schwellen in den Stössen nur stumpf abgeschnitten, und die nöthige Verbindung erhalten sie durch eiserne Klammern, oder noch besser durch eiserne Schienen, die seitwärts aufgenagelt werden, doch ist dabei zu bemerken, dass, wenn diese Schienen einige Sicherheit gewähren sollen, sie wenigstens $\frac{1}{4}$ oder $\frac{1}{3}$ Zoll stark sein, auch mit starken Nägeln von 8 bis 9 Zoll Länge befestigt werden müssen; man schlägt diese Nägel aber so ein, dass man sie beim Einstellen mit der Spitze an den äussern Rand des Nagelloches drückt, indem sie alsdann beim ferneren Eindringen wegen ihrer zunehmenden Stärke die Schiene nach der Seite oder die Schwelle nach dem Stosse hin pressen; auf diese Art kommen die beiden Schwellen möglichst nahe zusammen. Dass die Stösse in den Schwellen wieder gehörig abwechseln müssen, darf kaum erwähnt werden. Die sämmtlichen nebeneinanderliegenden Schwellen erhalten demnächst ihre Verbindung unter einander durch eine zweite Lage von Verbandstücken, welche sie rechtwinkelig kreuzen; dieses sind die sogenannten Zangen oder Querschwellen. Ein

Verschieben der letzteren nach der Länge der Rostschwellen ist gewöhnlich ganz undenkbar und es wird überdies durch die zwischenliegenden und aufgenagelten Bohlen verhindert; es braucht also die Schwelle gar nicht eingeschnitten zu werden und die Ueberschneidung ist allein in der Zange angebracht, wodurch die Rostschwellen schon im gehörigen Abstande von einander gehalten werden. Eine möglichst sorgfältige Ausfüllung und bei wichtigen Bauten eine Ausmauerung des Raumes in den Rostfeldern ist auch hier nothwendig. Gewöhnlich hebt man, nachdem die Pfähle eingerammt sind, den Grund noch 1 bis 2 Fuss unter dem Roste aus, wodurch das Anschneiden der Zapfen sehr erleichtert wird, und bringt einen tüchtigen Lehmschlag darüber an, auf welchen alsdann häufig noch die Ausmauerung kommt, die zwischen den Schwellen bis zu deren oberer Fläche hinaufreicht. In Fig. 145 *d* ist eine solche Anordnung dargestellt, wobei der Rost wieder eine ebene Fläche bildet; die Zangen sind nämlich so weit eingeschnitten, dass sie nur die Stärke der Bohlen behalten und sie sind sonach mit diesen bündig. Es rechtfertigt sich eine solche Anordnung insofern, als bei einer gleichmässigen Vertheilung des Druckes die Zangen keine grössere Last zu tragen haben, als die Bohlen; die Bohlen selbst müssen jedoch unter diesem Gesichtspunkte auch so stark gewählt werden, dass sie mit Sicherheit den Druck tragen können und sie nicht etwa zwischen den Balken brechen. Endlich ist zu erwähnen, dass die Bohlen auch hier fest genagelt werden. Die ganze beschriebene Anordnung ergiebt sich aus Fig. 145, *a* ist nämlich der Grundriss, den der Rost in den verschiedenen Bauperioden zeigt, und da, wo die Schwellen noch nicht mit den Zangen versehen sind, liegt eine der letzteren umgekehrt darüber. Fig. 145 *b* ist die Ansicht von der Seite und *c* und *d* sind zwei Querschnitte, von denen der erste durch eine Zange und der letzte durch eine Bohle gelegt ist.

Wenn gleich die beschriebene Construction bei uns die üblichste sein mag, so kommen doch manche Modificationen vor, die in Fig. 146 *a* und *b* dargestellt sind. Zunächst bemerkt man hier, dass die Pfähle in den einzelnen Reihen sich nicht gegenüber stehen, sondern sie versetzt sind. Dieses begründet sich dadurch, dass die Pfähle bei gleicher Entfernung von einander auch eine gleichmässige Compression des Bodens bedingen und dass man

hierdurch ein besonders schwieriges Einrammen verhindert; durch die ersteren Pfähle nämlich, welche eingerammt werden, verdichtet sich schon der Boden ringsumher und sie erschweren also das Eindringen der folgenden, und zwar geschieht dieses in einem um so stärkeren Grade, je näher die Pfähle neben einander stehen; der Widerstand, den die letzten Pfähle dem Eindringen entgegensetzen, bezeichnet aber keineswegs ihre Tragfähigkeit, denn nach und nach gleicht sich die im Boden hervorgebrachte Spannung einigermaassen wieder aus, und alsdann giebt sich leicht die schwache Stellung desjenigen Pfahles zu erkennen, der sehr nahe an einem andern eingerammt wurde. Dass bei einem solchen Versetzen der Pfähle dieselben nicht immer unter die Zangen treffen können, ist klar, doch bleibt dieser Umstand in Bezug auf die Festigkeit des Rostes ziemlich gleichgültig. Ferner ist in der letzten Figur auch noch eine andere Verbindung der Zangen gegen die Schwellen, nämlich mit einer geringen Verkämmung dargestellt. Der Bohlenbelag liegt hier tiefer als die Oberfläche der Zangen, was nach der früheren Bemerkung keineswegs als nachtheilig angesehen werden darf. Diese Construction könnte noch einigen Vortheil in Bezug auf die Festigkeit gewähren, indem die Zangen nicht so leicht einbiegen und sie daher etwas kräftiger die Bohlen unterstützen.

Endlich muss bemerkt werden, dass man bei einer vorkommenden Veränderung in der Richtung des Rostes dieselben Verbandstücke, welche für einen Theil Schwellen waren, in dem andern als Zangen übergreifen lässt, ebenso wie dieses Fig. 139 für den liegenden Rost dargestellt ist.

Beim Pfahlroste ist die Anwendung einer Spundwand sehr gewöhnlich; ihr Zweck ist wieder kein anderer, als derjenige, der schon für den liegenden Rost angedeutet wurde, nämlich einmal die Verminderung des Wasserzudranges während des Baues und sodann die Zusammenhaltung des Erdkörpers, welcher das Gebäude tragen soll. Da aber hier ein tieferes Einsinken durch fernere Compression des Bodens gar nicht stattfinden darf, so ist eine innige Verbindung der Spundwand mit dem Roste nicht mehr als nachtheilig anzusehen und man erreicht dadurch noch den Vortheil, dass man auch unter dem Roste Spundwände anbringen kann; letztere sind besonders wirksam, um ein Durchdringen der

Quellen sehr sicher zu vermeiden, und sie erhalten vor sich und zwar möglichst tief einen festen Thonschlag. Dieses ist vorzugsweise in dem Falle wichtig, wenn das Gebäude ein Wehr oder eine Schleuse ist und es überhaupt einen höheren Wasserstand gegen einen tieferen begrenzt und als Stauwerk dient.

Wenn nun der letzterwähnte Fall nicht eintritt und die Spundwand nur den Rost umgeben soll, so erhält sie die passendste Stellung ausserhalb der vordern Pfahlreihe, weil sie nur so für die sämmtlichen Pfähle die erwähnten Vortheile herbeiführen kann, und man thut sogar wohl, sie nicht gar zu nahe an diese zu stellen, weil das Eindringen derselben sonst durch sie schon stark erschwert werden würde. Jedenfalls muss mit dem Einrammen der Spundpfähle der Anfang gemacht werden, da sie in einem bereits stark comprimirten Boden nicht leicht regelmässig und tief genug eindringen, man lässt sie aber einige Fuss hoch über den Rost hervorragen, so dass der dahinter angebrachte Thonschlag die Stelle eines niedrigen Fangedammes versieht. Die Zangen und Bohlen des Rostes treten aber so weit vor, dass sie bis zur Spundwand reichen und sie sonach die eingeschlossene Erdmasse, sowie auch den Thonschlag und vielleicht die Uebermauerung darüber, von oben vollständig bedecken. Fig. 147 Taf. XIV. zeigt diese Anordnung; die schwache Spundwand ist mit keinem Fachbaume (so nennt man die Schwelle, welche auf der Spundwand ruht und worin der fortlaufende Zapfen am Kopfe der sämmtlichen Spundpfähle eingelassen ist) versehen, sie wird vielmehr nur durch die an beiden Seiten dagegen lehnenden und mit einander verbolzten Zangen zusammengehalten. In vielen Fällen ist es jedoch nicht statthaft, die Spundwand vor dem Roste vortreten zu lassen und bei einer grösseren Stärke der ersteren kann man auch den Fachbaum nicht füglich entbehren; die Anordnung, die man alsdann zu wählen hat, zeigt Fig. 148. Der Fachbaum liegt hier neben dem Grundbalken und ist durch Schraubenbolzen mit ihm verbunden, während die Bohlen und Zangen bis zu seinem äussern Rande weichen und er also einen Theil des Druckes noch mit aufnimmt. Die Zangen sind hierbei auf dieselbe Art, wie Fig. 146 zeigt, überkämmt worden, und nur in ihrem Kopfe, wo sie auf dem Fachbaume aufliegen, müssen sie ausgeschnitten werden, da man den letztern nicht gern schwächen mag.

Die ganze Construction vereinfacht sich wesentlich, wenn man die Spundwand mit der äussern Pfahlreihe verbindet und die Rostpfähle in der letzten mit Nuthen versieht, welche sonach als Nuthpfähle schon die Stelle einzelner Spundpfähle vertreten. Man erspart alsdann auch den Fachbaum, da dieser mit der äussern Rostschwelle zusammenfällt. Diese Anordnung ist besonders in Frankreich üblich; Fig. 149 stellt sie im Grundrisse dar, sie lässt sich indessen insofern kaum rechtfertigen, als die Spundwand, welche doch eben zur Sicherung der festen Stellung der Rostpfähle angebracht war, auf die äussere Reihe derselben ihren Einfluss grossentheils verliert. Ausserdem wird aber die Ausführung der Spundwand, wenn sie auf solche Art durch einzelne stärkere und tiefer eindringende Pfähle unterbrochen wird, sehr erschwert. Sodann kommt es zuweilen auch vor, dass man die Spundwand sogar innerhalb der äussern Rostpfähle anbringt und dieses in der Absicht, um ihr eine mehr gesicherte Lage zu geben. Dieses ist z. B. bei der Kaimauer Fig. 144 geschehen. Ein solches Verfahren ist indessen ganz unstatthaft, da weder die Spundwand, noch die Rostpfähle so frei stehen dürfen, dass sie äussern Beschädigungen ausgesetzt bleiben, und wenn die erste Pfahlreihe ohne die Spundwand schon gehörig gesichert ist, so wird dieses von den folgenden eben so gut gelten. Endlich muss noch erwähnt werden, dass man zuweilen auch die vordere Pfahlreihe ganz fortlässt und dafür nur die Spundwand anbringt, wie dieses z. B. bei der Umschliessungsmauer der Humber-Docke zu Hull geschehen ist, wie Fig. 154 zeigt.

Unter den Abweichungen, welche gegen die beschriebene Constructionsart des Pfahlrostes vorkommen, muss zunächst die Weglassung der Zangen erwähnt werden, was in Frankreich, England und Holland ganz gewöhnlich geschieht. Beim liegenden Roste hatten die Querschwellen (Unterlager) offenbar den Zweck, ein ungleichmässiges Setzen zu verhindern; sie sollten den Druck, dem eine Stelle des Grundes nicht Widerstand leisten kann, auf die nächsten übertragen. Beim Pfahlroste dagegen kann ein solches Einsinken nicht erfolgen, indem jeder einzelne Pfahl gehörig fest stehen und sonach jede Rostschwelle überall hinreichend unterstützt sein soll. Die Ausgleichung des Druckes ist also hier nicht mehr erforderlich und die Zangen dienen sonach

nur dazu, einem Ausweichen der Rostschwellen, insofern es seitwärts erfolgen könnte, entgegenzuwirken und dieselben immer in gleichem Abstande von einander zu erhalten. Die Tendenz zu einer solchen Bewegung wird in den meisten Fällen gar nicht vorhanden sein und zum Theil wird ihr auch schon durch die Befestigung des Bohlenbelages begegnet, der immer gegen die Schwellen genagelt zu werden pflegt. Aus diesem Grunde möchte sonach die Fortlassung der Zangen sich in den meisten Fällen rechtfertigen. Um einige Beispiele hiervon zu geben, ist Fig. 150 *a* und *b* im Längendurchschnitte und im Grundrisse die Fundirung einer massiven Brücke dargestellt, welche im Anfange dieses Jahrhunderts bei Catwijk aan den Rhijn bei Leyden für den grossen Entwässerungscanal von Süd-Holland durch Blanken projectirt wurde und demnächst zur Ausführung gekommen ist. Die Brücke hat 60 Fuss Spannung, 10 Fuss Pfeilhöhe, die Rostschwellen erstrecken sich von dem einen Widerlager bis zum andern und sind jedesmal unter dem Bogen noch durch zwei Pfähle unterstützt. Auf diesen Schwellen liegt der Bohlenbelag auf und dazwischen befindet sich nur eine einzige Zange, welche aber 6 Zoll hoch vorsteht und dadurch einen sehr sichern Stützpunkt gegen den horizontalen Schub des Bogens abgiebt. *)

In England kommen bei den Pfahlrosten zuweilen Zangen vor, wie dieses Fig. 143 für die neue London-Brücke zeigt; ebenso sind sie auch beim Fundamente der Waterloo-Brücke vorhanden, gewöhnlich fehlen sie aber. Fig. 151 *a* und *b* zeigt im Grundrisse und im Querschnitte das Fundament eines Mittelpfeilers der Staines-Brücke über die Themse **); es findet hierbei gegen die oben beschriebene Construction des Pfahlrostes auch noch der Unterschied statt, dass die Schwellen nach der Quere des Pfeilers gerichtet sind und sie sonach nur die kürzeren Dimensionen des Baues zur Länge erhalten. Sodann stellt Fig. 152 *a* und *b* die Kaimauer zu Aberdeen dar, die Telford erbaute ***), wobei die

*) Vergleiche den Rapport über die Eröffnung der Rheinmündung bei Catwijk op Zee; vom 16. März 1802.

**) Cresy, *practical treatise on bridge-building*. Taf. 19.

***) *Life of Telford*. S. 134. Taf. 35.

Zangen gleichfalls fehlen und sie sogar unter den schmalen Verstärkungspfeilern nicht vorkommen.

Perronet wendete die Zangen zuweilen an, wie bei der Brücke zu Mantes, gewöhnlich liess er sie aber fort, wie dieses bei denen zu St. Maxence, Chateau-Thierry und Neuilly geschehen ist; da die letztere besonders den Ruhm ihres Erbauers begründete, so ist die Anordnung des Pfahlrostes, die dabei gewählt wurde, Fig. 153 *a* und *b* durch den Grundriss und Querschnitt eines Pfeilers nachgewiesen, ich muss aber bemerken, dass die Zeichnungen im Perronetschen Werke ihrer sonstigen Sauberkeit unerachtet dennoch wegen des kleinen Maassstabes diesen Theil des Baues nicht ganz übereinstimmend und also zum Theil unrichtig darstellen. Durch die Vergleichung des Anschlages mit der Beschreibung des Baues und mit allen Zeichnungen ergab sich diejenige Construction, die ich mit Eintragung der angegebenen Maasse hier mittheile; die äussern Grundschwellen bilden einen geschlossenen Rahmen, der den ganzen Rost umgiebt, und sie sind um 4 Zoll höher als die innern Schwellen, ihre Oberfläche trifft also in die Ebene des Bohlenbelages, der auf den Querschwellen aufliegt. Um die Bohlen, die zuweilen auch schräge verschnitten sind und deren Ende daher keineswegs immer auf eine Querschwelle treffen würde, gehörig zu unterstützen, so sind jene äussern Schwellen mit einem Falze versehen, worin die Enden der Bohlen und überhaupt der äussere Rand des Bohlenbelages aufliegt; es ist nicht zu verkennen, dass der letztere dadurch eine sehr gesicherte Lage erhält. Ausserdem ist der Rahmen und der ganze Rost unter sich noch recht fest verbunden, indem die Querschwellen schwalbenschwanzförmig eingekämmt und die Enden der äussern Schwellen gegenseitig überblattet sind. Eine Spundwand kommt hier nicht vor. Aehnliche Anordnungen wiederholen sich auch sonst häufig in Frankreich *), doch gemeinhin giebt man den innern Schwellen dieselbe Höhe, wie den äussern, so dass also die Bohlen parallel mit den letzteren sich über beide erstrecken; in diesen Fällen pflegt man aber die schwalbenschwanzförmige Verkämmung und die Einrahmung des ganzen Rostes beizubehalten, und es lässt sich auch nicht leugnen,

*) Mehrere Beispiele dafür befinden sich in der *Recueil de dessins relatifs à l'Art de l'Ingénieur.*

dass diese für die Ausmauerung der Felder sehr bequem ist. Es muss aber bemerkt werden, dass die bei uns gewöhnliche Anwendung der Zangen, und zwar ebensowohl wenn sie mit den Rostschwellen bündig, als wenn sie vor denselben vorstehend verlegt werden, auch in Frankreich keineswegs unbekannt ist. *)

In derselben Art, wie man statt der Zangen nur Bohlen anwendet, so geht man in England wegen der hohen Holzpreise auch noch weiter und nimmt auch zu den Langschwellen nur Halbhölzer und sogar Bohlen. Hughes **) beschreibt die Ausführung des Pfahlrostes in der Art, dass er sagt, man müsse die Pfahlköpfe horizontal abschneiden, etwa einen Fuss darunter den Boden ausgraben und diesen Raum bis zum Niveau der Pfahlköpfe mit Steinstücken und Mörtel (also mit Béton) wieder anfüllen; alsdann sollte man Bohlen von Eichen, Buchen oder Ellern von 4 bis 6 Zoll Stärke über die Pfahlköpfe legen und sie mit eisernen Nägeln, Bolzen oder mit Nägeln von hartem Holze befestigen. Er führt weiter an, dass es üblich sei, eine zweite Bohlenlage von gleicher Stärke und zwar dicht schliessend über diese ersten Bohlen zu verlegen und darauf das Mauerwerk zu stellen. Auffallend ist es, dass nach dieser Beschreibung die Zwischenräume zwischen den ersten Bohlen hohl bleiben, was gewiss fehlerhaft ist und was wahrscheinlich auch in England nie geschieht. Fig. 154 *a* und *b* zeigt den Grundriss und Querschnitt von der Umfassungsmauer der Humber-Docke in Hull. ***) Die Pfähle unter der eigentlichen Mauer halten 9 Zoll im Durchmesser und diejenigen unter den Verstärkungspfeilern nur 8 Zoll, beide sind 10 Fuss lang; die Spundwand, welche hier, wie bereits erwähnt worden, die Stelle einer Pfahlreihe vertritt, besteht aus wirklichen Spundpfählen, die mit Federn und Nuthen in einander greifen und 6 Zoll stark sind; ihre Länge misst 12 Fuss. Die Schwellen sind Halbhölzer, die flach auf die Grundpfähle gelegt oder hochkantig gegen die Spundpfähle gebolzt sind. Der Bohlen-

*) Gauthey, *traité de la construction des ponts. Tome II. pag.* 289.

**) *The theory, practice and architecture of bridges. Vol. I.* Heft 4. Seite 27.

***) *Transactions of Civil Engineers. Vol. I. p.* 15.

belag hat eine Stärke von 4 Zoll. Das sämmtliche Holz ist Kiefern- aus den Ostseehäfen.

Eine andere Abweichung von der gewöhnlichen Construction bezieht sich darauf, dass man auch hier, ebenso wie beim liegenden Roste, den **Bohlenbelag fortlässt** und das Mauerwerk sich also unmittelbar auf die Rostschwellen und Zangen stützt; Beispiele dafür kommen besonders bei kleineren Brücken in Frankreich vor. Gegen dieses Verfahren wäre aber zu erinnern, dass durch das ungleichmässige Setzen leicht schon vor der vollständigen Erhärtung des Mauerwerks der Verband desselben in den untern Schichten wesentlich aufgehoben werden kann. In England geschieht dieses gleichfalls; so z. B. bei Fundirung der Kaimauer in Hull, die Fig. 144 zeigt, und es kommt dabei wieder der Fall vor, dass statt der Balken nur Halbhölzer benutzt sind; bei den Pfeilern der eisernen Gerrards-Hostel-Brücke zu Cambridge, wo der dichte Bohlenbelag gleichfalls fehlt, sind sogar nur 6zöllige Bohlen über die Pfahlköpfe gestreckt und darauf vernagelt worden, während ein 2 Fuss hohes Bétonbette zwischen den Pfählen den befestigten Untergrund für das Mauerwerk in den Rostfeldern bildet. Auch die Kammern der Schleuse der Verbindungsdocke in Hull sind in ähnlicher Art fundirt, wenigstens lassen die Bohlen Zwischenräume, die ihrer Breite gleichkommen. Andererseits geschieht es in England aber auch, dass man, nachdem die Pfahlköpfe in einer Ebene abgeschnitten und die Zwischenräume ausgemauert sind, einen dichten Bohlenbelag darüber streckt und darauf einen zweiten solchen so verlegt, dass die Fugen sich kreuzen, worauf beide zusammengenagelt werden. Es ist dieses Verfahren in der Fundirung der Ely-Brücke und der Haddlesey-Brücke angewendet worden.

Endlich erleidet der Pfahlrost zuweilen auch noch insofern eine Modification, dass das Mauerwerk unmittelbar auf die Pfahlköpfe gestellt wird und also eigentlich der ganze **Rost fehlt**. Ein Beispiel hiervon ist die Fundirung der Georges-Docke in Liverpool, wovon Fig. 155 das Profil sowohl der Mauer selbst, als auch eines Verstärkungspfeilers darstellt. Die eigentliche Mauer, welche ein sehr schwaches Profil hat und ihre Stabilität allein durch die Pfeiler erlangt, reicht bis zum niedrigsten Wasserspiegel herab, so dass die Pfähle, die sie tragen, nie trocken werden;

die Pfähle dagegen, die sich unter den Pfeilern befinden, reichen 6 Fuss höher herauf und sind also der abwechselnden Nässe und Trockenheit ausgesetzt, wenn nicht die vordere Mauer die Nässe zurückhält; letzteres ist insofern wohl anzunehmen, als alle zwölf Stunden das Hochwasser eintritt, welches viel höher steigt. Die Pfähle unter der eigentlichen Mauer sind in drei Reihen eingerammt und zwar stehen sie sich nicht gegenüber, sondern sie sind versetzt, so dass sie unter sich ungefähr gleiche Abstände von 2 Fuss 10 Zoll von Mittel zu Mittel bilden. Unter den Pfeilern sind dagegen in derselben Richtung acht Pfahlreihen vorhanden, die abwechselnd zwei oder drei Pfähle enthalten, und sie sind von Mitte zu Mitte 2½ Fuss entfernt. Die Pfeiler sind 8 Fuss breit und im lichten Abstande von 30 Fuss angebracht; sie treten 14 Fuss vor der Mauer vor, doch ist dabei die auffallende Anordnung getroffen, dass die Basis der eigentlichen Mauer an der innern Seite horizontale Bögen bildet und sie sonach am Anschlusse an den Pfeiler schon um 4 Fuss gegen das in der Figur dargestellte Profil zurücktritt, wodurch es erreicht wird, dass die Mauer neben den Verstärkungspfeilern gar nicht mehr überhängt. Die Pfähle dürften für diesen Bau aus Eichen, Buchen oder einer andern beliebigen Holzart bestehen, sie hatten unter der Mauer selbst eine Länge von 22, und unter den Pfeilern von 28 Fuss. Sie waren nicht beschlagen worden und mussten am Kopfe, der beim Rammen nicht gesplittert sein sollte, so breit bleiben, wie dieses das Holz irgend zuliess; sie wurden sorgfältig abgeschnitten in einer Ebene, die ihre Richtung unter einem rechten Winkel traf und eine siebenfache Anlage hatte, oder die im Verhältnisse von 1 zu 7 gegen den Horizont geneigt war. Alsdann grub man den Boden um die Pfähle 12 Zoll tief aus und füllte die Zwischenräume mit einem Mauerwerke von gut zugehauenen Steinen, die in Mörtel versetzt wurden, und zwar begrenzte dieses Mauerwerk wieder eine Ebene, die der der Pfahlköpfe zwar parallel war, aber um einen halben Zoll höher lag; es geschah dieses deshalb, damit die Füllmauer des Rostes sich noch etwas senken konnte, ohne gleich einen leeren Raum unter der eigentlichen Kaimauer zu bilden. Die untere Schicht der Kaimauer bestand nun aus besonders starken und grossen Platten eines recht festen Steines, der auch in seiner untern Fläche sehr sorgfältig bearbeitet war,

um möglichst gleichmässig auf den Pfahlköpfen zu tragen. Auch das ganze übrige Mauerwerk ist aus grossen Hausteinen ausgeführt. *)

Es bleibt endlich in Betreff des Pfahlrostes noch die Frage näher zu erörtern, ob es ausreichend ist, denselben nur so tief zu senken, dass er ganz sicher immer unter Wasser bleibt, oder ob man, wenn an der betreffenden Stelle vielleicht eine grosse Wassertiefe stattfindet, die Pfähle dicht über dem Grunde abschneiden und eben so tief den Rost verlegen muss. Die Kosten des Baues und besonders für die Wasserwältigung in der Baugrube vermehren sich ungemein, wenn man sehr tief fundirt, und da die Pfähle und der ganze Rost immer vom Wasser bedeckt sind, wenn man auch nur wenig unter dem kleinsten Sommerwasserstande bleibt, so möchte es wohl passend erscheinen, die erste Anordnung zu wählen. Es tritt alsdann aber die Schwierigkeit ein, dass die freie Stellung der Pfähle Besorgniss erregt, und zwar theils in Bezug auf das Verbiegen und Brechen und theils auch, indem sie dem fliessenden Wasser ausgesetzt bleiben und sie dadurch mit der Zeit leiden. Man hat es in solchen Fällen versucht, die Zwischenräume zwischen den freistehenden Pfählen auszufüllen; da diese Arbeit aber unter dem Wasser geschehen muss, so gewährt sie nicht hinreichende Sicherheit, und eine Schüttung, die man daselbst anbringt, kann leicht fortgespühlt und ausgewaschen werden, oder es erfolgt ein Setzen derselben, wodurch sich der freie Zwischenraum wieder darstellt. In dieser Beziehung erscheint eine Ausfüllung mit Erde nicht zulässig und eben so wenig eine Steinschüttung, wenn man aber dazu Béton anwendet, so ist zwar nicht anzunehmen, dass derselbe sich noch senken möchte, indem die ganze Masse wohl von den Unebenheiten und durch die unvermeidliche schräge Stellung einzelner Pfähle getragen wird, aber ein Ausspühlen des Grundes darunter bleibt dennoch möglich, und wenn sich hier eine merkliche Strömung bilden und den Grund angreifen sollte, so wäre das Uebel noch viel grösser, als wenn jener freie Raum sich dicht unter dem Roste darstellte. Hiernach erscheint es räthlich, die

*) Strickland, *Reports on Canals, Railways, Roads and other subjects.* Philadelphia 1826. S. 11.

Fundirungen jedesmal bis auf den natürlichen Boden herabzuführen und die Pfähle ganz in denselben einzurammen, oder wenigstens den Thonschlag oder die Ausmauerung von dem Flussbette an beginnen zu lassen, wozu immer eine vollständige Trockenlegung der Baugrube erforderlich ist. Man ist von dieser Regel jedoch zuweilen abgewichen, und ich will einige Beispiele dieser Art anführen, die in Rouen vorgekommen sind: beim Bau der Brücke daselbst füllte man den Raum zwischen den Pfählen auf 13 Fuss Höhe mit Béton an und umgab das Ganze mit einer losen Steinschüttung; die Kaimauer am Hafen zu Rouen fundirte dagegen de Cessart im Jahre 1779 sogar 36 Fuss über dem natürlichen Bette; Fig. 156 zeigt die dabei getroffene Anordnung; zuerst wurde der Boden stellenweise 25 Fuss hoch und allgemein bis auf 16 Fuss unter dem kleinsten Wasser mit dem Mergelkalke und den Feuersteinknollen, wie sie sich dort überall in einiger Tiefe vorfinden, ausgefüllt, und dieses geschah schon vor dem Rammen, um den Pfählen sogleich einen festen Stand zu geben. Nachdem hierauf die Rammarbeiten beendigt und die Pfähle unter Wasser abgeschnitten waren, so erfolgte die zweite Schüttung, welche die Figur zeigt. Alsdann wurden die Caissons versenkt und die Futtermauern aufgeführt; und während man das Terrain hinter dem Kai erhöhte, so brachte man noch Erdanker an, die gegen das Banket der Mauer verbolzt waren, diese Anker sollten nur so lange einigen Widerstand äussern, bis die Erde sich gehörig gesetzt haben würde; es ist hierbei aber zu erinnern, dass sie in der frisch geschütteten Erde wohl nur wenig wirken konnten. Endlich wurde die Hinterfüllung vollständig ergänzt und gleichzeitig noch die dritte Schüttung vor der Kaimauer angebracht.*)

Auf der gegenüberliegenden Seite der Seine erbaute Lamandé im Jahre 1784 eine ähnliche Kaimauer; er brachte aber eine starke Verstrebung, wie Fig. 157 zeigt, zwischen den Rostpfählen an. Die Streben bestanden aus starken doppelten Zangen, die über Wasser mittelst Bolzen zusammengesetzt wurden und so ausgeschnitten waren, dass sie die Oeffnungen für die Pfähle zwischen sich freiliessen. Da jedoch ein hinreichender Spielraum hier er-

*) de Cessart, *description des travaux hydrauliques. Tome I.* Paris 1806.

forderlich war, so trieb man endlich die beiden starken Keile noch zwischen die äussern Pfähle und die letzten Bolzen der untern Zangen, um jene möglichst fest zusammen zu bringen, wodurch die obere Zange in ihren Endpunkten gehörig unterstützt wurde und sehr sicher als Strebe wirken konnte. Die untere Zange lag dabei auf der natürlichen Böschung des Ufers auf und die spätere künstliche Anschüttung erstreckte sich bis zur oberen Zange. Der Wasserspiegel in dieser Figur bedeutet ebensowohl wie der in der vorigen die Höhe der niedrigsten Ebbe.

Bei Anwendung freistehender Pfähle kann man nicht leicht den Rost auf die gewöhnliche Art verlegen, indem eben die grosse Wassertiefe die Umschliessung und das Auspumpen der Baugrube sehr erschwert; man giebt den Pfählen gemeinhin auch nur aus dem Grunde die grössere Höhe, weil man den Fangedamm und die Wasserwältigung umgehen will. Indem nun aber der Rost dennoch unter dem kleinsten Wasser liegen soll, so muss man ihn jedenfalls im Wasser versenken und die dabei in Anwendung kommenden Methoden sind wesentlich verschieden von den oben beschriebenen. Am gewöhnlichsten ist es, sich in diesem Falle der sogenannten Caissons zu bedienen, wovon später (§. 48) ausführlich die Rede sein wird; zuweilen hat man aber auch, wenn ein günstiger Wasserstand benutzt werden konnte und sonach die Versenkung des Rostes nur in sehr geringer Tiefe vorgenommen werden durfte, diese unmittelbar bewirkt, und dieses Verfahren soll hier beschrieben werden.

Das Einrammen der Pfähle kann von Fahrzeugen oder von leichten Rüstungen aus ohne Schwierigkeit erfolgen, da man aber die Stellung jedes Pfahles nur nach dem über Wasser befindlichen Theile desselben beurtheilt, so finden sich häufig unter Wasser, und also auch an der Stelle, wo die Pfähle die Rostschwellen tragen sollen, sehr bedeutende Unregelmässigkeiten vor, und es wäre möglich, dass die Pfähle hier weit seitwärts stehen und von den Schwellen zum Theil gar nicht berührt werden. Um diesem Uebelstande vorzubeugen, hat man in Frankreich zuweilen von leichten Rüstungen aus Rahmen versenkt, welche durch die darin befindlichen Riegel und sonstigen Verbandstücke jeden Pfahl sehr genau in derjenigen Richtung erhalten, wo man die Rostschwellen später versenken will. Dieses geschah z. B. bei der

Fundirung der Brücke zu Bordeaux, wobei freilich später der Bau in Caissons angewendet wurde; solche Rahmen werden aber immer am sichersten ihren Zweck erfüllen, wenn man sie wenig unter derjenigen Höhe erhält, wo die Pfähle abgeschnitten werden und wo der Rost liegt. Nachdem die Pfähle eingerammt sind, kann man sogleich die Ausfüllung der Zwischenräume zwischen ihnen beginnen, um ihnen eine recht feste Stellung zu sichern; doch darf man damit noch nicht zu weit herauf gehen, weil das Abschneiden der Pfähle nur geschehen kann in einer Höhe, wo die Säge noch nicht den Boden berührt. Das Verfahren beim Abschneiden der Pfähle unter Wasser wird später (§. 41) besonders behandelt werden. Ferner muss die Anfüllung des Grundes genau bis zur Oberfläche der Pfahlköpfe erfolgen, wie dieses auch bei der Fundirung in Caissons geschieht, und dann erst darf man die Rostschwellen darauf versenken. Findet kein Zweifel über die regelmässige Stellung der Pfähle statt, und ist man also ganz sicher, dass jeder Pfahlkopf sich an der vorher bestimmten Stelle befindet, so durchbohrt man hier die Schwelle und setzt einen starken Nagel darin ein, jedoch so, dass die Spitze in der untern Fläche noch nicht vorsteht; man pflegt auch wohl zu diesem Zwecke sich besonderer Nägel von dreieckigem Querschnitte zu bedienen, welche etwas besser im Hirnholze haften. An aufgeschrobenen eisernen Leitstangen wird nun die Schwelle mit den Nägeln genau in ihrer passenden Stelle versenkt, und mittelst eiserner Aufsetzer mit einer angemessenen Vertiefung in der untern Fläche schlägt man die Nägel ein und befestigt auf solche Art die Schwellen gegen die Pfahlköpfe. Bemerkt man aber, dass die Pfähle nicht gehörig gegen einander gerichtet sind, so sondirt man von einer festen Rüstung aus möglichst genau ihre Stellung, trägt solche auf und sucht nunmehr ein passend gekrümmtes Holzstück aus, woraus die Schwelle dargestellt wird, die man alsdann in der beschriebenen Art wieder versenkt und aufnagelt. Dieses Verfahren ist beim Bau der Brücke zu Berry au bac angewendet, und es muss bemerkt werden, dass es hierbei nicht als wesentlicher Uebelstand angesehen werden darf, wenn auch kleine Theile einzelner Pfahlköpfe etwas seitwärts von den Schwellen treffen.

Nachdem die Schwellen befestigt sind, müssen die Zwischenräume aufs Neue angefüllt und bis zur Oberfläche der Schwellen

regelmässig geebnet werden. Alsdann versenkt man den Bohlenbelag in grossen Tafeln, die gemeinhin die Breite des ganzen Rostes oder die Länge der Schwellen zur Breite haben. Die einzelnen Bohlen müssen dabei natürlich die Schwellen kreuzen, damit sie aber schon beim Versenken mit einander gehörig verbunden sind, so werden vorher von unten Latten oder dünne Dielen aufgenagelt und zwar so, dass sie in die Zwischenräume zwischen je zwei Schwellen treffen. Beim Versenken muss man nun darauf sehen, dass die Tafel mit ihrem Ende genau in die Mittellinie einer Schwelle trifft, damit hier die folgende dagegen gestossen werden kann und die Enden von beiden gehörig unterstützt sind. Damit sie gleichmässig und leicht herabsinken, beschwert man sie mit Steinen und nagelt sie wieder durch eiserne Nägel, die schon vor dem Versenken eingesetzt waren, auf die Schwellen auf. Endlich kommt über diesen Rost als erste Schicht der Mauer eine Lage von recht hohen Werkstücken, die schon über das Wasser reichen müssen und deren Fugen sich also von oben mit Mörtel füllen lassen, den man mit der Kelle einstreicht.

Diese ganze Arbeit lässt sich bei günstigem Wasser so sicher und genau ausführen, dass in Bezug auf die Solidität des Rostes selbst sich wohl keine Besorgniss begründet. Wenn man z. B. alles Holzwerk einen Fuss unter den bekannten niedrigsten Wasserstand bringen will und der Wasserstand zur Zeit des Baues wieder einen Fuss über den bekannten niedrigsten ist, so ist der Bohlenbelag 2 Fuss zu versenken, wobei dessen regelmässige Verlegung in warmer Jahreszeit (wenn nämlich die Arbeiter sich nicht scheuen ins Wasser zu gehen) gar keine Schwierigkeit macht. Die Schwellen sind ferner etwa $2\frac{1}{2}$ Fuss zu versenken, was sich durch das angedeutete Verfahren, und wenn man auch hierbei eine passende Beschwerung mit Steinen anwendet, so dass der Druck des Wassers dadurch eben aufgehoben wird, wieder sehr leicht und sicher machen lässt. Endlich ist das Abschneiden der Pfahlköpfe in der Tiefe von etwa $3\frac{1}{2}$ Fuss unter Wasser nach den später zu bezeichnenden Methoden wieder mit genügender Genauigkeit zu bewirken, und ebenso kann man in dieser Tiefe auch leicht durch Gegenhalten von Linealen, die durch ein Loth vertical gerichtet werden, die Stellung der Pfähle scharf genug ermitteln. Der Rost selbst, der auf diese Art dargestellt ist, hat

aber in verticaler Richtung eine ganz genügende Unterstützung und ein Verschieben seitwärts wird schon durch die Nägel zum Theil verhindert, hauptsächlich verbietet sich dieses aber durch das Eindrücken der Pfahlköpfe in die Schwellen, welches bei der zunehmenden Belastung des Rostes bald auf einige Linien anwächst. Um bei der ganzen Arbeit durch die Strömung nicht gestört zu werden, welche im offenen Flusse leicht das Versenken erschweren und den Mörtel auswaschen könnte, sichert man sich aber, wie bei Gelegenheit der Fundirung in Caissons näher beschrieben werden wird, am einfachsten durch eine Art von leichten Fangedämmen, die mit Senkfaschinen angefüllt werden. Der ganze Rost lässt sich also auf diese Art ohne besondere Schwierigkeit und ziemlich sicher aufbringen, nur die Füllung der Zwischenräume zwischen den Pfählen und unter dem Roste bleibt immer bedenklich, und allein aus diesem Grunde wird man Anstand nehmen müssen, von dieser Fundirungsart Gebrauch zu machen.

Es ist hierbei noch zu erwähnen, dass man auch einen vollständigen Rost mit Schwellen, Zangen und Bohlenbelag auf dem Lande zurichten und zusammensetzen und ihn alsdann im Ganzen versenken und wieder mittelst langer und starker Nägel gegen die Pfahlköpfe befestigen kann. Dabei tritt aber der neue Uebelstand ein, dass die einzelnen Rostfelder gleich zu Anfang hohl sind und sonach eine Durchströmung unter dem Roste um so leichter eintreten kann. Von dieser letzten Constructionsart ist auch in Deutschland durch v. Wiebeking Gebrauch gemacht worden, dabei ereignete es sich aber, dass die Pfähle so unregelmässig abgeschnitten waren, dass die Schwellen gar nicht überall auflagen und deshalb Taucher herabgeschickt werden mussten, um Holzkeile dazwischen zu stecken, was gewiss nicht zu billigen ist.

§. 36.

Die Zugramme.

Um die Rostpfähle in dem Erdboden festzustellen und bis zur nöthigen Tiefe herabzutreiben, bedient man sich der Ramme; mittelst derselben werden auch die Spundpfähle und alle sonstigen Pfähle eingeschlagen. Der wesentlichste Theil der Ramme ist ein hölzerner Klotz oder eine Eisenmasse, der Rammklotz, auch

wohl der **Bär** genannt; dieser wird abwechselnd gehoben, und indem er auf den Pfahl zurückfällt, so bewirkt er dessen tieferes Eindringen. Das Heben geschieht entweder aus freier Hand, und in diesem Falle besteht die ganze Vorrichtung allein aus dem Klotze und man nennt ihn eine **Handramme**; bei der **Zugramme** dagegen hängt der Klotz an einem Tau, welches an einer Rüstung über eine Scheibe geführt ist; am hintern Ende dieses Taues sind Leinen befestigt und die Arbeiter ziehen diese stossweise herab und heben dadurch den Klotz. Endlich aber hat man auch verschiedene mechanische Vorrichtungen benutzt, um den Klotz jedesmal zu einer grösseren Höhe zu heben, als es nach den ersten Methoden möglich war; alsdann verwandelt sich die Ramme in eine **Kunstramme**.

Die **Handramme** besteht jedesmal aus Holz, und zwar pflegt man der Festigkeit wegen dazu Eichenholz anzuwenden; man versieht sie mit Armen oder Bügeln, an welchen die herumstehenden Arbeiter sie fassen und bequem heben und führen können; indem aber beim tieferen Eindringen des Pfahles auch der Klotz tiefer herabsinkt, während die Arbeiter unverändert in gleicher Höhe stehen bleiben, so ist es am vortheilhaftesten, die Ramme mit Bügeln zu versehen, die von oben bis unten herabreichen und sonach in jeder Höhe einen bequemen Angriffspunkt gewähren; sie müssen jedoch einen freien Raum von mindestens zwei Zoll zwischen dem Klotze lassen, weil sonst die Arbeiter ihre Hände klemmen und wund stossen. Am untern Ende versieht man die Handramme mit einem eisernen Ringe, der sehr fest schliessen muss, damit er ein Aufspalten des Holzes verhindert; am vortheilhaftesten ist es, ihn heiss und zwar von oben aufzutreiben, wodurch sein Herabfallen verhindert wird. Gewöhnlich wählt man die Form einer achteckigen abgestumpften Pyramide, weil diese sich ohne grossen Verschnitt aus dem Rundholze am leichtesten darstellen lässt. Fig. 158 Taf. XV. zeigt in *a* und *b* die Seitenansicht und die Ansicht von oben für die beschriebene Anordnung der Ramme. Bei ihrer Anfertigung muss man besonders darauf sehen, dass das Holz recht trocken ist, weil es bei einem späteren Austrocknen schwinden und alsdann der eiserne Ring lose werden würde. Durch das Einschlagen von Nägeln und Krammen lässt sich das Herabfallen des Ringes wohl ver-

hindern, aber wenn er nicht recht fest das Holz umgiebt, so kann dasselbe noch aufspalten und er erfüllt alsdann nicht vollständig seinen Zweck. Hiernach ist es auch vortheilhafter, den Ring gar nicht durch Nägel zu befestigen, damit er, sobald einiger Spielraum entsteht, tiefer herabsinken und sich dadurch von Neuem auf dem stärkeren Holze feststellen kann, in ähnlicher Art, wie dieses bei Gelegenheit der Zugrammen noch näher erörtert werden wird.

Den Gebrauch der Handramme kann man keineswegs bequem nennen und dieses besonders in dem Falle, wenn der Pfahl noch hoch steht und die Arbeiter sonach den Klotz recht hoch heben müssen; bei einiger Unvorsichtigkeit kann derselbe leicht neben dem Pfahle vorbeischlagen und die Leute beschädigen. Diese Besorgniss ist Veranlassung, dass die Arbeit gemeinhin sehr langsam von statten geht und der Klotz nur unbedeutend gehoben wird. Eben aus diesem Grunde ist es aber auch durchaus unzulässig, dem Rammklotze ein grosses Gewicht zu geben; man darf auf jeden Arbeiter kaum 25 Pfunde rechnen, und da nicht mehr als höchstens vier Mann dabei angestellt werden können, so beschränkt sich das Gewicht der Handramme im Maximum auf 100 Pfund, und es bleibt dennoch erforderlich, nur starke und geschickte Leute dabei anzustellen, welche auch einige Uebung brauchen, um gleichmässig und kräftig die Ramme zu führen.

Um den Effect der Handramme zu vergrössern, hat man manche Modificationen dabei eingeführt; zunächst gehört dahin die Anbringung einer eisernen Axe in der Mittellinie des Pfahles, an welcher der Klotz herabgleitet. Fig. 159 stellt diese Axe dar, die bei wiederholter Benutzung nicht als besonders kostbar angesehen werden kann, indem sie bei allen Pfählen gebraucht wird und ihr Einsetzen und Ausnehmen nicht viel Mühe macht. Sie muss wenigstens 5 Fuss lang und 1½ Zoll stark sein; unten ist sie mit einer Holzschraube versehen und darüber befindet sich ein viereckiger Kopf, mittelst dessen man sie mit dem Schlüssel fassen und aus- und einschrauben kann. Jeder Pfahl wird am Kopfe mit einem passenden Loche versehen, was recht genau in der Richtung der Axe des Pfahles gebohrt werden muss, und ehe man den Pfahl setzt und ihn einrammt, schraubt man die eiserne Axe in dasselbe hinein. Der Rammklotz, der in diesem

Falle etwas niedriger und stärker sein kann als früher, ist der Länge nach durchbohrt und zwar muss das Bohrloch reichlichen Spielraum für die Axe lassen; er wird, nachdem der Pfahl gesetzt ist, oder auch schon vorher aufgeschoben, und indem die Leute nun gar nicht mehr ein Herabfallen desselben besorgen dürfen, so arbeiten sie viel kräftiger und der Pfahl dringt sonach viel schneller ein. Einige Uebung ist indessen auch hierbei noch nothwendig, weil bei ungleichmässigem Hube eine starke Reibung gegen die Axe eintreten und letztere auch wohl noch oft verbogen werden möchte.

Endlich ist zu erwähnen, dass man beim Gebrauche der Handramme zuweilen auf dem einzurammenden Pfahle selbst die Rüstung für die Arbeiter anbringt und diese alsdann nicht nur den Druck auf den Pfahl durch ihr Gewicht vermehren, sondern sie beim tieferen Eindringen desselben auch mit ihm herabsinken und auf diese Art den Pfahlkopf immer in der passenden Höhe behalten und folglich sehr bequem die Ramme führen können. Fig. 160 *a* und *b* zeigt diese Rüstung in der Ansicht von der Seite und von oben. Der Pfahl wird zwei Fuss unter seinem Kopfe durchbohrt und eine starke Brechstange hindurchgesteckt; nachdem man ihn durch Hin- und Herbewegen so weit im Boden befestigt hat, dass er ohne weitere Unterstützung sicher steht, so legt man zwei Bohlen mit dem einen Ende über die Brechstange, während das andere beschwert wird. Diese Bohlen selbst können noch zur vorläufigen Befestigung des Pfahles dienen, wenn eine solche nöthig sein sollte, und zwei kurze Bohlenstücke werden darüber gelegt; alsdann stellen sich zwei, auch wohl drei oder vier Arbeiter auf die Bohlen und fangen zuerst leise an, den Pfahl einzutreiben, weil er sonst noch leicht umfallen möchte; wie er aber sich fester stellt, so können sie mit voller Kraft arbeiten und dann erst treten die oben erwähnten Vortheile ein. Es ist jedoch hierbei eine grosse Sorgfalt nöthig, damit die leichte Rüstung nicht einstürzt, und es wird sich hiervon eigentlich nur in weichem Grunde, oder wenn man den Boden vorher aufgraben konnte, Gebrauch machen lassen, denn der Pfahl muss schon vor der Anwendung der Ramme ziemlich fest stehen; da die Brechstange sich aber leicht verbiegt und alsdann beide Bohlen immer herabgleiten, so ist es noch nöthig, diese unter sich zusammen zu binden.

Von den beiden erwähnten Methoden hat man mehrfache Anwendung gemacht und darin eine bedeutende Erleichterung im Gebrauche der Handramme gefunden, unter andern ist dieses auch bei der Correction des Wertach-Flusses geschehen, wobei aber die Rüstung noch durch besondere andere Unterstützungen gesichert wurde. *)

Bei der Zugramme wird der Klotz, wie bereits erwähnt worden, nicht aus freier Hand, sondern mittelst eines Taues gehoben, und wenn man zuweilen ihn auch in diesem Falle noch durch unmittelbares Anfassen leitet, so geschieht dieses doch nur sehr selten und nur bei kleineren Rammen; die gewöhnliche Anordnung ist aber diese, dass an der Rüstung besondere Ruthen angebracht sind, welche den Klotz sicher führen. Es sind dieses die Läufer oder Läuferruthen, auch Mäckler genannt, die entweder einfach oder doppelt sind und um welche die Arme des Klotzes entweder herumfassen oder zwischen ihnen hindurchgreifen. Die Figuren 161, 162 und 163 zeigen die drei verschiedenen hierbei vorkommenden Verbindungsarten; Fig. 161 ist diejenige, welche bei uns die üblichste ist und welche den Vortheil gewährt, dass man nur eine Läuferruthe braucht; der Klotz hat vier Arme, die seitwärts an der Ruthe vorbeigehen und von denen je zwei hinter der Ruthe noch durch Riegel mit einander verbunden sind. Der Uebelstand, der indessen hierbei leicht eintritt, ist der, dass der Klotz sich gegen die ziemlich schmale Fläche der Ruthe nicht sicher lehnen kann und er daher stark seitwärts schwankt, was bei längerem Gebrauche der Ramme immer zuzunehmen pflegt, indem die Kanten der Ruthe sich nach und nach abstossen. Nach Fig. 162 ist der Klotz nur mit zwei Armen versehen, die zwischen den beiden Läuferruthen hindurchgreifen und wieder durch Riegel vor dem Herausgleiten gesichert sind; die beiden Ruthen hält man aber durch zwischengelegte Klötze über der Schwelle und unter der Scheibe in der Entfernung von 3 Zoll und zuweilen auch noch weiter auseinander, wie dieses Fig. 167 angedeutet ist; häufig greifen diese Klötze auch mit einer Verzahnung in die Läuferruthen ein und jedesmal werden sie

*) Voit, über die Correctionen des Wertach-Flusses in Crelle's Journal. Bd. II. S. 251.

mittelst durchgehender Schraubenbolzen gehörig befestigt. Häufig lässt man aber die Ruthe nicht aus zwei besonderen Holzstücken bestehen, sondern man schneidet aus dem einzelnen Stücke, das sie bildet, nur eine 1½zollige Bohle heraus, so dass die Wangen sehr schmal ausfallen und daher nicht die nöthige Steifigkeit behalten; es soll später bei Gelegenheit der Kunstramme angegeben werden, wie man die beiden Seitenstücke mit einander durch Bügel verbinden und dadurch ihre Steifigkeit vermehren kann, doch ist es gewiss vortheilhafter, lieber zwei besondere Stücke Halbholz oder schwaches Bauholz zu benutzen, wie dieses bei den englischen Rammen immer geschieht.

Nach beiden beschriebenen Anordnungen erfährt der Klotz beim Aufziehen und beim Herabfallen nur von einer Seite eine Reibung, und dieser Umstand giebt Veranlassung, dass er zu schwanken pflegt; übrigens verlangt auch die Befestigung der Arme und Riegel manche Vorsicht, damit sie nicht etwa abbrechen oder herausfallen, was eine grosse Gefahr für die darunter stehenden Arbeiter veranlassen würde. Bei den Rammen, die man in Holland ganz gewöhnlich sieht und welche auch in Frankreich häufig vorkommen, sind diese beiden Uebelstände beseitigt, indem nach Fig. 163 der Klotz acht Arme erhält, welche zu beiden Seiten ganz symmetrisch die Ruthen umfassen. Man nennt die beiden Ruthen in diesem Falle die Scheere und die ganze Ramme heisst alsdann eine Scheerramme; für diese treten noch in der ganzen Anordnung der Rüstung manche Vortheile ein, und besonders empfiehlt sie sich insofern, als man gemeinhin die Scheere mit Leichtigkeit verstellen kann und sonach der Schlag des Klotzes sich seitwärts und schräge führen lässt, wie dieses die jedesmalige Richtung des Pfahles erfordert; sie erlaubt sonach ein viel genaueres Arbeiten und empfiehlt sich dadurch vor allen andern Rammen.

Was die Aufstellung der Zugrammen betrifft, so sind in den Figuren 164 bis 168 *) diejenigen Arten der Rüstungen dargestellt,

*) Diese Figuren sind so aufgetragen, dass das Auge 20 Fuss hoch über dem Boden der Rammen liegt und es 8 Zoll von der Bildfläche entfernt angenommen ist; die vordere Seite der Läuferruthe schneidet aber unter einem Winkel von 45 Graden die Bildfläche.

welche wesentliche Verschiedenheiten zeigen. Fig. 164 ist die Ramme, die im nördlichen Deutschlande besonders häufig vorkommt. Sie zeichnet sich durch die Menge der starken Verbandstücke, woraus sie besteht, vor allen übrigen aus, und wenn das viele Holz durch sein Gewicht auch zum festen Stande wesentlich beiträgt, so ist eben dieses grosse Gewicht auch beim Aufstellen und Niederlegen der Ramme und beim Verfahren derselben sehr hinderlich. Ihre Verbindung ist gewöhnlich diese, dass die Schwellen sowohl unter sich, als auch mit den Streben und der Läuferruthe durch Verzapfung und durch Ueberwürfe verbunden sind, während die Streben am obern Ende mittelst Versatzung und durchgesteckter Schrauben- oder Splintbolzen an die Läuferruthe befestigt werden. In die Läuferruthe ist über den Streben die Rammscheibe eingelassen, welche das Rammtau vom Klotze nach der sogenannten Stube oder dem Raume über der Verschwellung führt; hier stehen die Arbeiter auf einem losen Dielenboden und ziehen mittelst der angesteckten Zugleinen das hintere Ende des Rammtaues stossweise herab, wodurch sie den Klotz heben, und indem sie plötzlich loslassen, so fällt der Klotz auf den Pfahl und treibt denselben ein. Die eine Strebe in der vordern Wand der Ramme, und zwar die linkseitige, ist mit Sprossen versehen, an welchen ein Arbeiter heraufsteigen und die nöthigen Verrichtungen beim Einbringen der Taue, beim Schmieren der Scheiben und dergleichen bewirken kann. Diese Ramme ist endlich auch noch mit einer besonderen Vorrichtung zum Setzen der Pfähle versehen, und solche besteht in einer Winde, die sich in Einschnitten auf den hintern Streben bewegt und durch eiserne Bügel darin gehalten wird. Das Windetau geht von hier über den Krahnbalken, der auf dem obern Ende der Läuferruthe aufliegt und häufig noch durch Winkelbänder befestigt ist, oder wohl nur mit starken Leinen angebunden wird. Beim Verfahren und beim Aufrichten oder Niederlegen der Ramme wird wegen ihres grossen Gewichtes eine bedeutende Anzahl von Menschen gebraucht, die auch wieder bei der eigentlichen Rammarbeit verwendet werden, wogegen beim Setzen der Pfähle gewöhnlich nur ein kleiner Theil der Arbeiter Beschäftigung findet. Das Richten der Ramme geschieht, indem man die Läuferruthen nebst den beiden vordern Streben und der zugehörigen

Schwelle flach auf den Boden legt und alsdann hiermit die ganze Verschwellung und die hintern Streben verbindet. Ist dieses geschehen, so befestigt man ein starkes Tau am Kopfe der Ramme, zieht dieses über die hintere Schwelle und legt es um eine Winde oder lässt es mittelst eines Flaschenzuges stark anziehen; indem man den Kopf der Ramme Anfangs durch unmittelbares Anfassen etwas heben lässt, so wird bald eine solche Stellung erreicht, wobei der Zug an jenem Tau schon minder stark sein darf, und später wird es sogar nöthig, noch ein zweites Tau vom Kopfe der Ramme um einen Pfahl hinter der Vorderwand zu legen (das Stopftau), womit man die Ramme zurückhalten kann, um zu verhindern, dass sie nicht zu heftig auf die Verschwellung niederfällt; sie darf sich vielmehr nur leise aufstellen und zu diesem Zwecke lässt man das Stopftau langsam über jenen Pfahl gleiten. Beim Niederlegen der Ramme ist das Verfahren gerade entgegengesetzt; das erste Tau wird Stopftau und das zweite muss zunächst mit der Winde, oder auch nur aus freier Hand angezogen werden.

Fig. 165 stellt die sogenannte Winkelramme vor, welche sich nur durch eine andere Anordnung der Verschwellung von der vorigen unterscheidet, aber sonst sehr genau mit ihr übereinkommt. Sie dient dazu, um in den Ecken der Baustelle, die vielleicht durch die Fangedämme oder sonstige Gegenstände für die erste Ramme unzugänglich sein würden, Pfähle einzuschlagen.

Fig. 166 ist die Ramme, die Perronet benutzte und die sehr nahe mit denen übereinkommt, die man auch heut zu Tage noch in Frankreich anwendet. Sie hat nur eine hintere Strebe und sonach trifft die Winde, die zum Setzen der Pfähle dient, gerade in den Raum, wo die Arbeiter stehen, und diese müssen sich daher zu beiden Seiten gleichmässig vertheilen. Die Verbindung der ganzen Rüstung erhält durch die Zangen und die Schraubenbolzen eine grosse Steifigkeit, doch ist es übel, dass die Zange über der Winde gerade in die Richtung des Taues trifft, mittelst dessen die Pfähle gehoben werden; das Rammtau selbst wird dadurch aber insofern nicht gehindert, als die Zugleinen schon oberhalb der Zange abgehen. Bei vielen französischen Rammen fehlt indessen diese Zange und ich habe sie nur deshalb hier angegeben, um die von Perronet benutzte Anordnung vollständig darzustellen. Der wichtigste Punkt ist hierbei die Scheere, worin

der Klotz vor der vordern Wand der Ramme spielt; diese Scheere ist zwar fest und sonach entbehrt sie des Vorzuges, dass die Richtung des Schlages leicht verändert werden kann, aber sie hat noch immer den grossen Vortheil, dass man den Klotz bis unter die Verschwellung der Ramme unmittelbar kann wirken lassen, und dieses ist besonders beim Einrammen der Grundpfähle sehr wichtig, da es unbequem ist, die Ramme gar zu tief zu stellen. Ferner ist hierbei auf die Grösse des Rades aufmerksam zu machen, das $3\frac{1}{2}$ Fuss im Durchmesser hält, doch ist dieses nicht vor, sondern hinter der vordern Wand der Ramme befestigt; diese Abweichung war in der perspectivischen Ansicht nothwendig, wenn nicht die Deutlichkeit in Bezug auf die Scheere leiden sollte; die letzte wäre in der richtigen Zeichnung mit der Mittelsäule der vordern Wand zusammengefallen, da sie nur einen Fuss von der Schwelle entfernt ist.

Fig. 167 zeigt ferner die sogenannte Stützenramme, die in den Ostseehäfen gewöhnlich vorkommt und sich theils durch die Bequemlichkeit der Aufstellung und des Transportes und theils auch dadurch sehr vortheilhaft auszeichnet, dass man mit ihr in jeder beliebigen Neigung Pfähle einrammen kann. Sie besteht, wie die Figur zeigt, nur aus der vordern verschwellten Wand und der Stütze, wogegen die Wand sich lehnt, während ein oder zwei Taue, die sogenannten Kopftaue, die jedoch nur bei einem beinahe senkrechten Stande erforderlich sind, sie zurückhalten, damit sie nicht etwa vorn überschlägt. Die Windevorrichtung fehlt ihr, dagegen ist am obern Ende der Stütze ein Haken befestigt, woran man einen Flaschenzug hängen kann, und mittelst dieses hebt eine zahlreiche Mannschaft noch viel schneller den Pfahl, als es mit der Winde möglich ist. Will man die Ramme richten, so legt man die Läuferruthe nebst den Streben mit ihrem obern Ende auf einen gewöhnlichen Rüstbock und befestigt die Verbandstücke der vordern Wand unter sich und gegen die Schwelle. Alsdann setzt man die Stütze ein und bringt am Fusse derselben den einen Block eines Flaschenzuges an, während der andere Block an den Fuss der Läuferruthe gebunden wird; sobald man das in beide eingeschorne Tau anzieht, so steigt die Ramme von selbst sehr schnell empor. Das Versetzen oder Verfahren dieser Ramme ist aber insofern überaus leicht,

als die Stütze einigen Spielraum in der Läuferruthe hat und man sonach zuerst die Schwelle mit Brechstangen um einige Fuss fortschieben und sodann die Stütze an dem daran gebundenen Hebel weiter rücken kann. Eine Ramme dieser Art, die ich zur Kunstramme eingerichtet hatte und die 40 Fuss hoch war, wurde durch sechs Arbeiter, die dabei angestellt waren, ohne Mühe verfahren, und die gewöhnliche Meinung, dass man zum Versetzen grosser Rammen immer 20 bis 30 Mann nöthig habe, gilt also keineswegs für diese Einrichtung. Dass die Ramme minder fest steht, als die andern, welche an sich viel schwerer sind und überdies noch durch die ganze Mannschaft belastet werden, ist nicht zu leugnen, doch ist die Beweglichkeit hier noch immer nicht störend und man kann durch eine passende Anordnung der Ueberwürfe, womit die Ruthe und die Streben gegen die Schwelle befestigt werden, dem Schwanken wesentlich entgegenwirken. Fig. 169 zeigt einen solchen Ueberwurf in der Ansicht von zwei Seiten, wobei der eingetriebene keilförmige Pflock beide Verbandstücke fest zusammendrängt, was beim gewöhnlichen Ueberwurfe nicht geschieht. Es ist hierbei aber nothwendig, alle Haken und Krammen recht stark zu machen und sie mit Widerhaken zu versehen, damit sie nicht aus dem Holze herausgerissen werden können. Endlich wäre noch darauf aufmerksam zu machen, dass die Schwelle nicht mit ihrer ganzen Grundfläche, sondern nur mit dreien niedrigen Füssen unter der Läuferruthe und unter den beiden Streben aufstehen darf, weil man sonst nicht mit Brechstangen darunter fassen kann. Zuweilen trifft es sich, dass man die Ramme nicht von derjenigen Seite gegen den einzutreibenden Pfahl schieben kann, wohin derselbe geneigt ist; man stellt sie alsdann so, dass der Pfahl zwischen ihre Schwelle und ihre Stütze trifft und hängt den Klotz verkehrt ein, so dass er auf der untern oder der innern Seite der Läuferruthe spielt und die Arbeiter sich ausserhalb der vordern Wand der Ramme befinden. Die Wirksamkeit wird dabei freilich durch den schrägen Zug an den Zugleinen merklich geschwächt, nichts desto weniger ist es immer ein Vortheil, wenn man in solchen seltenen Fällen noch mittelst der gewöhnlichen Apparate den Zweck überhaupt erreichen kann; es wird hierbei nur nöthig, zur Verminderung der Reibung zwischen der Läuferruthe und den Riegeln in den Armen des Klotzes ein dünnes Brett von der

Länge des Klotzes einzuziehen. Ich habe diese Anordnung beim Einrammen der äussern Pfähle zu den Duc-d'Alben jederzeit benutzt und sie ganz bequem gefunden.

Die Ramme, welche in Holland bei grösseren Anlagen am meisten im Gebrauche ist, stellt Fig. 168 vor; selbst bei den Bauten am nordholländischen Canale wurde sie benutzt, und nur zuweilen sah ich in dortiger Gegend statt ihrer eine andere, die aber noch einfacher war und von der später die Rede sein wird. Diese Ramme hat gar keine Verschwellung; die drei Bäume, welche die ganze Rüstung bilden, sind unten mit eisernen Dornen versehen, wie Fig. 171 einen solchen in grösserem Maassstabe zeigt, und oben sind sie durch einen Bolzen, der wieder Fig. 170 in grösserem Maassstabe dargestellt ist, mit einander verbunden. Dieser Bolzen ist mit einem Charniere in der Mitte versehen, daneben hat er auf jeder Seite einen vorstehenden Ansatz, woran die Unterlagscheibe sich lehnen kann, und an beiden Enden sind Schraubengewinde eingeschnitten, auf welche Muttern passen. Auf der linken Seite des Bolzens (nach der Zeichnung) werden die beiden Bäume in der vordern Wand der Ramme, und auf der rechten Seite des Bolzens derjenige Baum, der die Stelle der Stütze versieht, aufgeschoben und mit den Schraubenmuttern befestigt. Es ergiebt sich hieraus, dass die drei Bäume beweglich bleiben und man sie unten willkührlich weit auseinander stellen kann. Mit ihren Füssen stehen sie gewöhnlich nicht unmittelbar auf dem Boden auf, weil sie darin leicht zu tief versinken würden, vielmehr werden, wie die Figur zeigt, Bohlen untergelegt, auf welche oft noch andere Dielen kommen, worauf die Arbeiter sich stellen. Am obern Ende des erwähnten Bockes ist mittelst einer Kette oder eines Taues ein Block von 18 Zoll Durchmesser und zuweilen auch eine gusseiserne Scheibe mit eiserner Fassung angehängt, wie man solche zum Beladen der Schiffe häufig gebraucht. Der Rammklotz läuft zwischen den dünnen Ruthen der Scheere, die oben durch zwei eingeschrobene eiserne Bügel gehalten werden und die man unten entweder auf den Boden stellt, oder man lässt sie mittelst Dornen wieder auf der Rüstung aufstehen. Mit der richtigen Stellung der Scheere ist jederzeit ein Zimmergeselle ausschliesslich beschäftigt; er verschiebt sie nicht nur in den Pausen, sondern sogar während der Arbeit, sobald es ihm

nöthig scheint, den Schlag des Klotzes mehr nach der einen oder nach der andern Seite zu führen, und zuweilen hält er sogar die Scheere längere Zeit hindurch mit den Händen, um jeden einzelnen Schlag auf die angemessene Stelle zu richten. Wenn diese Ramme zum senkrechten Einschlagen von Pfählen benutzt wird, wie dieses gemeinhin der Fall ist, so muss sie durch ein Kopftau noch besonders gehalten werden, das neben der Stütze angebracht wird und welches sehr sicher das Ueberfallen der ganzen Rüstung, sowie auch das Verschieben derselben verhindert.

Viele Rammen, die man in Holland sieht, sind, wie schon erwähnt, noch einfacher als diese zusammengesetzt, indem ihnen sogar der dritte Baum oder die Stütze fehlt; sie bestehen allein aus den beiden Bäumen, welche die Stelle der Streben versehen und der Scheere. Solche Rammen bedürfen indessen nicht nur des einen Kopftaues, welches Fig. 168 zeigt, sondern ausser diesem noch eines zweiten ähnlichen, welches nach der vordern Seite herabgeführt ist. Indem man in einem Lande, wie Holland, wo fast jeder grössere Bau auf Pfähle gestellt werden muss und überhaupt die Rammarbeiten sich häufiger als sonst irgendwo wiederholen, solche schwerfällige Maschinen, wie sie bei uns üblich sind, gar nicht vorfindet, so rechtfertigt sich dadurch wohl ein Zweifel gegen den unbedingten Vorzug der letzteren.

Ueber die Anordnung der Rammen in Frankreich ist bereits die Rede gewesen, hier wäre im Allgemeinen darüber nur noch zu erinnern, dass man daselbst nicht selten zwei Rammscheiben und zwei Rammtaue anwendet, die beide denselben Klotz fassen. Diese Einrichtung kann nur in dem Falle vortheilhaft sein, wenn man recht grosse Scheiben benutzt und sie sehr schräge und etwa in einer Richtung von 90 Graden gegen einander aufstellt, wodurch beide Taue auf der Seite, wo die Zugleinen angesteckt sind, schon merklich von einander entfernt werden und sonach die Kraft der Arbeiter weniger durch den schrägen Zug geschwächt wird. Auch in England kommen doppelte Scheiben nicht selten vor, doch sind sie dort gemeinhin nur von sehr kleinem Durchmesser und auch sonst wenig vortheilhaft angeordnet*), man

*) Davy, *the architects constructive manual. Vol. I.* London 1839. S. 39.

wählt sie auch nur, um in den einzelnen Theilen der Läuferruthe die Scheiben einlassen zu können, was etwas leichter ist, als wenn man *eine* Scheibe zwischen beiden anbringen wollte. Im übrigen ist die Rüstung der gewöhnlichen englischen Zugramme der von Perronet gewählten einigermaassen ähnlich, doch fehlt die Scheere, auch ist sie sonst gemeinhin um Vieles leichter; der Klotz erhält aber nur zwei Arme, die zwischen den beiden Läuferruthen hindurchreichen. Die Aufstellung der englischen Kunstrammen soll später beschrieben werden.

Nächst der Rüstung der Zugramme verdient der Rammklotz eine nähere Beschreibung; derselbe besteht gewöhnlich aus Holz, zuweilen aber auch aus Gusseisen; sein Gewicht beträgt nach Maassgabe des Widerstandes, den die Pfähle dem Eindringen entgegensetzen, 6 bis 12 Centner, doch fehlt es auch nicht an Beispielen, dass beide Grenzen überschritten werden. Vom hölzernen Rammklotze mag zuerst die Rede sein: man schneidet ihn aus einem recht gesunden und starken Stamme, gewöhnlich dem Stammende einer Eiche aus, und bei den harten Stössen, die er zu erleiden hat, und indem er zugleich während seines Gebrauches den Sonnenstrahlen und dem Winde dauernd ausgesetzt bleibt, ist die Anwendung von besonders gutem Holze ein dringendes Erforderniss, denn sonst reisst er zu stark beim Trocknen und zersplittert, oder er schlägt sich sehr bald stumpf, das heisst, die untern Enden der Holzfasern legen sich seitwärts um, wodurch eine weiche Grundfläche entsteht, die jeden kräftigen Schlag mildert und sonach seine Wirksamkeit schwächt. Es kann indessen selbst das festeste Holz der Erschütterung nicht lange widerstehen, die es bei diesem immer wiederkehrenden Aufstossen erfährt, wenn man es nicht durch einen starken eisernen Ring in seinen Theilen zusammenhält, und damit der Ring es wirklich fest umschliesst, so ist es nothwendig, dass das Holz schon vorher ziemlich ausgetrocknet war. Gewöhnlich wird der Rammklotz prismatisch und zwar mit quadratischem Querschnitte bearbeitet, oben und unten schneidet man entweder ringsumher oder wenigstens an der Seite, welche sich gegen die Läuferruthe lehnt, einen Falz von $\frac{1}{2}$ Zoll Tiefe ein, weil der Beschlag nicht vorstehen darf, und in diese Falze treibt man die eisernen Ringe auf und jeder derselben wird zum Theil durch Nägel befestigt, hauptsächlich

geschieht dieses aber durch vier eiserne Schienen, die man in die Mitte der Seiten einlässt und die mit ihren umgebogenen Rändern den Ring halten. Sie werden, nachdem der Ring aufgetrieben ist, unter demselben in die schon früher eingeschnittenen vertieften Rinnen eingeschoben und alsdann gleichfalls durch Nägel oder auch wohl durch Krammen befestigt, doch müssen im letzten Falle die Schienen auch am obern Ende einen umgebogenen Rand erhalten und sie lassen sich alsdann nur mit dem Ringe zugleich einbringen. Fig. 172 zeigt diese Anordnung sowohl in der Seitenansicht des Klotzes, als auch im Längendurchschnitte desselben. Es tritt hierbei indessen der sehr grosse Uebelstand ein, dass die Ringe durch die Schienen und Nägel wohl am Herabfallen gehindert werden können, dass ihnen dadurch aber keineswegs ein fester Schluss gesichert wird, und so geschieht es denn, dass sie beim Eintrocknen des Holzes lose werden und der Klotz Risse bekommt, sich stumpf schlägt und oft sogar sehr bald in mehrere Stücke zerfällt. Will man dieses verhindern, so müssen die Ringe, welche durch die starken Stösse während des Gebrauches der Ramme immer abwärts getrieben werden, sich eben dadurch von selbst wieder festsetzen, wenn sie auch durch das Trocknen und Schwinden des Holzes lose geworden sein sollten. Zu diesem Zwecke darf der Klotz nicht mehr eine prismatische, sondern er muss vielmehr eine pyramidale Form erhalten, indem er nach oben und zwar in beiden Richtungen stark verjüngt wird. Sowohl die untere, als die obere Fläche desselben wird gegen diejenige Seite, die sich an die Läuferruthe lehnt, senkrecht abgeschnitten, und damit die Ringe, von denen man nunmehr bei grösseren Klötzen sogar drei auftreiben kann, eine gehörige Spannung auszuüben im Stande sind, so müssen sie eine hinreichende Breite und Stärke erhalten, besonders gilt dieses aber von dem unteren, der wenigstens $\frac{1}{2}$ Zoll stark und 2 Zoll breit werden muss. Der unterste Ring wird gleichfalls von oben aufgetrieben, und damit er sich später noch etwas senken kann, so darf er dem untern Ende des Klotzes nicht zu nahe liegen, sondern er bleibt Anfangs noch 6 Zoll davon entfernt. Die sämmtlichen Ringe stehen alsdann vor den Seitenflächen des Klotzes weit vor und sie würden die Läuferruthe sehr stark beschädigen, wenn man sie nicht davon gehörig entfernt halten könnte; dieses geschieht sehr einfach

dadurch, dass man ein dünnes Brett von Eichenholz, welches da, wo es die eisernen Ringe trifft, passend ausgeschnitten ist, darüber nagelt; man erreicht dadurch sogar noch den Vortheil, dass man dieses Brettchen recht glatt behobeln und so auswählen kann, dass es recht gerade Fasern hat, wodurch die Reibung gegen die Läuferruthe noch bedeutend geringer wird, als wenn man den Rammklotz unmittelbar dagegen spielen lassen wollte. Fig. 173 *a* und *b* zeigt die beschriebene Anordnung. Ich habe einen Klotz dieser Art einige Jahre hindurch bei einer Kunstramme benutzt und er wurde trotz der viel stärkeren Erschütterungen, die er erlitt, dennoch weit weniger beschädigt, als die auf gewöhnliche Art beschlagenen Rammklötze der Zugrammen; doch auch bei den letzten zeigte sich dieser veränderte Beschlag in gleichem Maasse vortheilhaft, indem dadurch nicht nur das Holz conservirt wurde, sondern auch die vielfachen Reparaturen aufhörten, die früher immer erhebliche Kosten verursachten und zugleich sehr häufig den Betrieb der Arbeit störten. Es muss aber noch bemerkt werden, dass auch hierbei die oben erwähnten Vorsichtsmaassregeln noch dringend nöthig bleiben, nämlich dass man schon ziemlich trocknes Holz zum Klotze wählen und dass man die Ringe heiss auftreiben muss.

Demnächst verdient die Befestigung der Arme im Rammklotze eine nähere Untersuchung; häufig giebt man ihnen gewöhnliche prismatische Zapfen, die bedeutend schwächer als sie selbst sind, und setzt diese in die im Rammklotze eingeschnittenen Zapfenlöcher ein, worin sie alsdann verbohrt und mit hölzernen Nägeln befestigt werden; zuweilen versieht man sie auch wohl mit schwalbenschwanzförmigen Zapfen, wie Fig. 174 auf Taf. XVI. zeigt, die durch Keile von unten festgestellt und demnächst wohl noch mit hölzernen Nägeln gehalten werden. Beide Anordnungen sind indessen nicht passend, denn es ist kein Grund vorhanden, die Ausarbeitung eines recht weiten Zapfenloches im Klotze zu vermeiden, da eine Schwächung desselben doch nicht eintritt, und was man durch das Ausschneiden des Klotzes an Gewicht verliert, wird in gleichem Maasse durch die schwereren Arme wieder ersetzt. Diese Arme selbst stehen aber seitwärts vor dem Klotze vor und jeder Stoss trifft sie eben so gut wie den Klotz; ein Abbrechen des Zapfens ist also sehr leicht möglich, sobald derselbe

nicht mehr ganz fest ist. Dazu kommt noch, dass die Nässe sich in das Zapfenloch hineinzieht und man daher beim Ausnehmen eines Armes immer bemerkt, wie derselbe besonders an der Stelle, wo er die Seitenfläche des Klotzes trifft, angefault und verrottet ist, während er in dem vorstehenden Theile vielleicht noch ganz frisches Holz enthält; also gerade da, wo der Stoss am leichtesten den Bruch bewirken kann, ist auch der Einfluss der Witterung auf die Dauer des Holzes am nachtheiligsten. Hiernach ist es nicht zu billigen, wenn man an eben dieser Stelle ohne alle Veranlassung den Querschnitt noch schwächt. Die erwähnte und in der Figur dargestellte Befestigungsart mit dem schwalbenschwanzförmigen Zapfen und dem eingetriebenen Keile ist aber noch weniger angemessen, denn eine solche Verbindung wird theils durch das Eintrocknen des Holzes, welches hier so besonders stark erfolgt, und theils auch durch die heftigen Stösse gelöst, so dass der Keil bald herausfällt, und die hölzernen Nägel pflegen auch in Kurzem durchzubrechen, wenn sie allein den Arm halten sollen. Das Abbrechen oder Herausfallen der Arme muss aber mit der grössten Vorsicht vermieden werden, weil dieses die augenscheinlichste Gefahr für die Arbeiter herbeiführen würde. Am sichersten ist es, den Arm in seiner ganzen Höhe und Stärke in den Klotz eintreten zu lassen und ihn durch einen horizontal durchgesteckten eisernen Bolzen von $\frac{1}{2}$ Zoll Durchmesser, der die ganze Breite des Klotzes zur Länge hat, zu befestigen, wie dieses Fig. 173 zeigt. Der Bolzen selbst, den die Stösse von unten treffen, wird dadurch nicht verschoben, wenn er auch nur einigermaassen im Bohrloche fest sitzt und er nicht gar zu willig sich aus- und einschlagen lässt. Hat der Klotz vier Arme, so wird ein Bolzen immer je zwei derselben festhalten, und bei acht Armen oder bei einer Scheerramme genügen gleichfalls zwei Bolzen, doch können sie im letzten Falle auch ganz fehlen und durch hölzerne Nägel ersetzt werden, indem je zwei Arme aus einem hindurchreichenden Stücke Holz bestehen.

Werden die Arme an ihrem hintern Ende noch mit Riegeln versehen, so erhalten sie zu diesem Zwecke quadratische Oeffnungen von 2 bis $2\frac{1}{2}$ Zoll Weite und Höhe; der Riegel hat an der einen Seite einen seitwärts vortretenden Kopf, damit er sich nicht ganz durchziehen kann, und auf der andern Seite wird er

am besten durch einen vorgeschlagenen gewöhnlichen eisernen Nagel gehalten. Man wählt statt des letzteren zuweilen auch einen kleinen Versteckbolzen, der aber bei den Stössen leicht ausspringt, wodurch der Riegel gelöst wird und auf die Arbeiter herabfallen kann. Jedenfalls wird der Riegel aber nicht fest angetrieben, sondern nur lose eingesteckt, und sonach sind die eisernen Ringe, die man auf die Arme aufzuschlagen pflegt, ganz überflüssig, überhaupt muss man sich hüten, am Rammklotze und an den Armen desselben viele Beschläge anzubringen, denn durch die heftigen Stösse werden sie doch bald gelöst und sie nützen alsdann nicht nur gar nichts, sondern sie veranlassen beim Herabfallen auch eine grosse Gefahr für die Arbeiter.

Die Oese, woran das Tau befestigt wird, kann entweder unmittelbar an dem Klotze angeschnitten werden, wie dieses in Holland zu geschehen pflegt; aus Fig. 168 ergiebt sich diese Anordnung mit hinreichender Deutlichkeit und man pflegt als Vorzug derselben den Umstand anzuführen, dass das Tau dabei weniger leidet, indem es nicht eine so scharfe Biegung wie um eine eiserne Kramme machen darf; bei letzterer braucht man indessen das Tau auch nicht unmittelbar herumzuschlingen und sonach ist dieser Nachtheil leicht zu vermeiden. Die Kramme verursacht weniger Kosten als die Oese, insofern sie ganz unvergänglich ist und sie immer von einem Klotze, sobald er zerschlagen oder verfault ist, auf einen andern übertragen werden kann; die hölzerne Oese ist aber nicht nur wegen der Arbeit kostbar, sondern sie bedingt auch für das zum Rammklotze zu wählende Holzstück schon eine etwas grössere Länge. Endlich aber gewährt die Kramme noch den Vortheil, dass man mit grosser Sicherheit, nachdem der Klotz vollständig bearbeitet, beschlagen und mit den Armen versehen ist, ihre Stelle genau über dem Schwerpunkte aussuchen und dadurch das Spiel der Ramme wesentlich erleichtern kann. Fig. 175 zeigt eine Oese in der Seitenansicht; sie muss mindestens 1 Zoll und bei schweren Rammen auch $1\frac{1}{4}$ Zoll im Durchmesser halten und eine Länge von 9 bis 12 Zoll haben. Die beiden Spitzen, womit sie eingetrieben wird, sind mit Widerhaken versehen und genau parallel zu einander gerichtet. Wenn sie auf solche Art ausgeschmiedet ist und sie nach gehörigem Vorbohren der Löcher kalt eingeschlagen wird, so darf man nicht befürchten, dass sie

herausgerissen oder zerbrochen werden möchte, sie bleibt vielmehr, so lange man den Klotz brauchen kann, ganz fest darin stecken und leidet dabei in keiner Beziehung, und wenn endlich der Klotz zerschlagen wird, so kann sie unmittelbar und ohne alle Reparatur wieder bei einem andern Klotze gebraucht werden.

Die gusseisernen Rammklötze kommen bei den Zugrammen nicht häufig vor, wenn nicht etwa der hohe Preis des Holzes ihre Anwendung vortheilhaft erscheinen lässt; in Deutschland dürfte letzteres kaum der Fall sein, denn wenn die Eisenmasse auch als ganz unvergänglich betrachtet werden kann, so gilt diese lange Dauer doch nur von dem eigentlichen Klotze, aber keineswegs von der Holzverkleidung, deren er bedarf, noch auch von den Armen, die immer aus Holz bestehen müssen, und die Befestigung der letzteren ist schwieriger und wegen der stärkeren Stösse auch minder dauerhaft, als bei hölzernen Klötzen. Ueberdies haben die eisernen auch noch den grossen Nachtheil, dass sie die Pfähle besonders stark angreifen und sie leicht zersplittern, so dass man häufig noch die Pfahlköpfe mit Ringen versehen muss, um das Aufspalten derselben zu verhindern; der letzte Uebelstand vermindert sich einigermaassen dadurch, dass man dem Klotze keine convexe Grundfläche giebt, wie dieses oft geschieht, sondern eine ebene, und noch besser soll es sein, sie sogar etwas concav zu machen. Zum Befestigen der Arme werden zwei oder vier ganz durchgehende Oeffnungen gleich beim Gusse des Klotzes angebracht, die Arme selbst bekommen aber eine etwas grössere Stärke, als diese Oeffnung, so dass sie, wie Fig. 176 zeigt, auf der vordern Seite des Klotzes durch vorgesteckte keilförmige Splinte befestigt werden können und sie zugleich die Holzunterfütterung halten, welche gegen die Läuferruthe schleift, indem diese durch die unmittelbare Berührung des Eisens zu sehr leiden würde. Dieselbe Figur zeigt auch die gewöhnliche Oese, zuweilen benutzt man aber auch hier eine Kramme oder einen Bügel aus Schmiedeeisen, der in die Gussform gesetzt und gleich angegossen wird.

Ein anderer wichtiger Theil der Zugramme ist die Scheibe, worüber das Rammtau geführt wird; Hauptbedingung für dieselbe ist es, dass sie das Tau in solcher Richtung fasst, dass es parallel zur Läuferruthe steht; die Scheibe muss also eben so weit

vor der Läuferruthe vortreten wie der Aufhängungspunkt des Klotzes, oder nach der obigen Bedingung wie der Schwerpunkt desselben, und ausserdem muss sie auch in die Ebene fallen, welche die Mittellinie der Läuferruthe schneidet. Diese Bedingungen zeigen sich besonders in dem Falle als nothwendig, wenn der Klotz bis nahe an die Scheibe gehoben werden soll, was beim jedesmaligen Setzen eines Pfahles der Fall zu sein pflegt. Demnächst muss die Scheibe nicht einen gar zu kleinen Durchmesser erhalten, es geschieht nicht selten, dass dieser nur 8 bis 9 Zoll misst, doch geht alsdann nicht nur ein grosser Theil der Kraft in der Ueberwindung der Steifigkeit des Seiles verloren, sondern ausserdem wird die Reibung an der Axe auch sehr bedeutend, was hier um so mehr zu berücksichtigen ist, als gemeinhin die Scheibe sich nicht mit der Axe zugleich, sondern vielmehr um dieselbe dreht und dadurch eine unregelmässigere Bewegung und ein viel stärkeres Schleifen und Klemmen entsteht. Bis zu welchem Grade die Reibung auf diese Art anwachsen kann, lässt sich durch die Rechnung nicht nachweisen, doch ist ihre Zunahme jedenfalls sehr bedeutend und viel grösser, als man nach Verschiedenheit der Halbmesser der Scheiben erwarten sollte. Was den Einfluss der Steifigkeit des Taues betrifft, so lässt sich dieser mit Zugrundelegung der gewöhnlichen Annahmen für Scheiben von verschiedener Grösse und für ein bestimmtes Gewicht des Rammklotzes leicht finden. Der Klotz mag 12 Centner wiegen und das Tau $1\frac{1}{2}$ Zoll im Durchmesser halten, alsdann wird die Reibung und der nöthige Ueberschuss der Kraft über die Last betragen:

wenn die Scheibe	9	Zoll	misst	. . .	165	Pfund
- - -	12	-	-	. . .	121	-
- - -	18	-	-	. . .	82	-
- - -	24	-	-	. . .	62	-
- - -	30	-	-	. . .	49	-
- - -	36	-	-	. . .	41	-

Man kann also in diesem Beispiele allein in Beziehung auf die Steifigkeit des Seiles die nöthige Kraft schon um 100 Pfund vermindern, sobald man die Scheibe von 9 auf 24 Zoll vergrössert; mit Bezug auf die Reibung wird der Vortheil aber noch sehr viel grösser. In England hat man die Erfahrung gemacht, dass der

fünfte Theil der Mannschaft entbehrlich wurde, sobald man statt der dort üblichen Scheiben von 10 Zoll Durchmesser solche von 4 Fuss benutzte, die aber überdies auch noch insofern eine Vervollkommnung erfahren hatten, dass die Drehungsaxe in der Scheibe befestigt war und in Pfannen lief.

Das Material, woraus die Scheibe gewöhnlich besteht, ist Holz, doch wählt man dazu solche Arten, die nicht nur hart sind, sondern die sich auch recht glatt reiben, und wo sie über den Spahn geschnitten sind, keine grosse Schärfe zeigen. Aus diesem Grunde ist Eichenholz dazu nicht passend, dagegen wird Weissbuchen-, auch Birken- und bei kleineren Scheiben das sehr feste und dauerhafte Guajak- oder Pockholz besonders benutzt. Man dreht die Scheiben, wenn sie klein sind, aus vollem Holze aus, und selbst grössere werden zuweilen aus mehreren Bohlenstücken so zusammengesetzt, dass die Holzfasern durchweg parallel liegen. Fig. 177 zeigt eine Scheibe dieser Art von 2 Fuss Durchmesser, die bei den Rammarbeiten am Ems-Canale im Hannöverschen angewendet wurde. Die drei Bohlenstücke waren darin theils durch Federn und Nuthen und theils durch vier eingeschrobene und verbohrte hölzerne Dübel, ausserdem aber noch an jeder Seite durch fünf eiserne Schienen verbunden. Es ist indessen immer vortheilhafter, die Scheibe aus mehreren Stücken so zusammenzusetzen, dass sie, ähnlich den Rädern, aus Armen und Felgenstücken bestehe. Fig. 178 zeigt in der Seitenansicht und im verticalen Durchschnitte eine solche hölzerne Scheibe, die häufig vorkommt; die beiden Verbandstücke, welche die Arme bilden, sind überblattet und in die Felgen verzapft; zwei eiserne Schienen, die in kreuzweiser Richtung auf beiden Seiten überreichen und eingelassen sind, verbinden die Arme mit den betreffenden Felgen und zugleich bilden sie die Büchsen, womit die Scheibe den Bolzen umfasst, der ihr zur Axe dient. Besonders wichtig ist es, möglichst wenig Hirnholz in der Rille, worin das Tau ruht, vortreten zu lassen, weil das Tau dadurch besonders leiden würde. Es tritt hierbei nämlich der Uebelstand ein, dass die Scheibe sich keineswegs immer ganz übereinstimmend mit dem darauf liegenden Tau bewegt; dieses geschieht freilich während des Aufhebens des Klotzes, wobei das Tau stark gespannt ist und dessen Reibung gegen die Scheibe der letzteren eine ganz

gleiche Bewegung mittheilt; auch wenn der Klotz herabfällt, nimmt die Scheibe gleichfalls bald die der früheren entgegengesetzte Bewegung an, aber sobald der Klotz aufschlägt, so wird das Tau, das nunmehr ganz lose auf der Scheibe liegt, von den Arbeitern zurückgehalten, und die Scheibe, welche in diesem Momente eine grosse Geschwindigkeit angenommen hatte, kommt nicht augenblicklich zum Stillstande, sondern dreht sich noch unter dem ruhenden Tau etwas weiter und hierbei erfolgt vorzugsweise die starke Abnutzung des Taues, die immer um so grösser ist, je rauher und schärfer das Holz in der Rille war. Es pflegt nun freilich in ziemlich kurzer Zeit die Rille eine polirte Oberfläche anzunehmen, dass aber dennoch die Reibung nicht aufhört, giebt sich am deutlichsten dadurch zu erkennen, dass die Rillen immer tiefer werden, und am sanftesten gleitet das Tau über diejenigen Stellen, wo die Holzfasern mit der Richtung der Bewegung parallel liegen, und dadurch rechtfertigt es sich, dass man den Kranz der Scheibe nicht nur aus vier Felgenstücken zusammensetzt, sondern dass man dazu, wo möglich, auch krummgewachsenes Holz nimmt, welches sich noch um so besser durch Zapfen verbinden lässt. Bei grösseren Scheiben wird die nöthige Anzahl der Felgenstücke gleichfalls grösser und man muss alsdann auch die Anzahl der Arme vermehren, die sich in diesem Falle aber nicht mehr überblatten lassen, sondern die mit Zapfen in einander greifen, oder man giebt der Scheibe, wie einem Wagenrade, eine vollständige Nabe und verwandelt die Arme in Speichen, wie dieses in Frankreich besonders üblich ist. Dabei wird es aber noch nöthig, die einzelnen Felgenstücke durch Schienen mit einander zu verbinden.

Die Scheibe findet gewöhnlich in der Läuferruthe ihre Befestigung, woselbst sie in einem Schlitze eingesetzt wird, man durchbohrt alsdann die beiden Backen des Schlitzes so, dass theils der obenerwähnten Bedingung über das Vortreten der Scheibe vor der Läuferruthe Genüge geschieht und theils auch das Bohrloch für die Axe nicht gar zu nahe an den vordern oder hintern Rand der Backen kommt; dass es genau in die Mitte derselben treffen muss, ist keineswegs nothwendig, und dieses um so weniger, da die Axe der Scheibe nicht allein im Holze steckt, sondern man sie durch starke Schienen noch besonders unterstützen muss. Die

Axe besteht bei den gewöhnlichen Rammen in einem losen Bolzen mit vorgesteckten und umgebogenem Splinte, und gemeinhin pflegt bei der Bewegung der Scheibe die Axe mit dieser zugleich einige Drehung anzunehmen und sie greift alsdann die Schienen, worauf sie ruht, in Kurzem sehr stark an. Aus diesem Grunde ist es vortheilhaft, die Schienen da, wo die erwähnte Axe hindurchgeht, zu verstärken und sie mit förmlichen Pfannen oder Büchsen zu versehen, die gleich beim Ausschmieden dargestellt werden. Gemeinhin setzen sich diese Schienen noch weiter auf- und abwärts fort, und bei der Stützenramme ist es üblich, dass sie zugleich den Bolzen, durch welchen die Stütze gehalten wird, umfassen und bis unter die Ringe reichen, woran die Kopftaue befestigt werden; anderntheils gehen dieselben Schienen aber auch noch weiter abwärts und sie erhalten da, wo sie gegen die Streben treffen, Verlängerungen, welche durch Charniere mit ihnen verbunden sind und wieder den dritten Bolzen umfassen, der beide Streben mit der Läuferruthe verbindet. Fig. 167 zeigt diese Anordnung.

Gewöhnlich ist die Rille in der Scheibe nicht tief eingeschnitten und es entsteht alsdann die Besorgniss, dass das Tau herausspringen möchte; um dieses zu verhindern, setzt man an die Läuferruthe zu beiden Seiten noch breite Backenstücke an, welche eben so weit, als die Scheibe selbst, nach vorn und nach hinten vortreten und dadurch ein Herausspringen des Taues unmöglich machen. Diese Backen darf man aber nicht allein durch Nägel befestigen, weil sie in diesem Falle sich wieder lösen und auf die Arbeiter herabstürzen könnten, mindestens muss auf jeder Seite ein Schraubenbolzen, bei dem die Mutter recht fest angezogen ist, hindurchgehen.

Sobald die Scheibe viel grösser wird und einen Durchmesser von 4 bis 5 Fuss erhält, was in Deutschland und Holland zwar nicht vorkommt, wohl aber in Frankreich und England, so darf sie nicht mehr lose auf der Axe stecken, sondern letztere muss in ihr befestigt sein und sich zugleich mit ihr umdrehen. Der Grund davon ist hauptsächlich dieser, dass die Entfernung der Stützpunkte an der Axe, durch welche der Scheibe die senkrechte Stellung gesichert wird (ohne dass sie mit ihrem Radkranze gegen

die Läuferruthe streifen darf), auf diese Art grösser wird und sonach eine Neigung nach der Seite nicht so leicht erfolgen kann. Wenn sich aber nach der gewöhnlichen Einrichtung die Scheibe um die Axe dreht, so schleift sich ihre Büchse nicht gleichmässig aus, sondern das ursprünglich cylindrische Loch wird bald an beiden Seiten viel weiter als in der Mitte, und nunmehr neigt sich die Scheibe stark seitwärts und fängt an, heftig gegen die Ruthen oder die erwähnten Backen zu schleifen, wodurch eben der grosse Kraftverlust entsteht. Diesem Uebelstande beugt man vor, wenn die Axe in der Mitte viereckig und in den beiden vorstehenden Enden cylindrisch ausgeschmiedet und rund gefeilt, auch wohl abgedreht wird. Mit diesen Enden lässt man sie in gehörigen Pfannenlagern laufen, und wenn sich hier nach und nach auch einige Abnutzung zeigt, die man jedoch durch gehöriges Einschmieren sehr vermindern kann, so läuft die Scheibe dennoch immer frei und jene Reibung gegen die Ruthe tritt gar nicht ein. Die Pfannenlager kann man entweder auf Knaggen legen, die nur gegen die Läuferruthen befestigt sind, doch sind in diesem Falle durchgehende Schraubenbolzen nothwendig, weil die Nägel, die man hier anwenden könnte, immer die Tendenz haben, sich auszuziehen, und dasselbe geschieht auch, wenn man eiserne Eckbänder unter den Knaggen oder Riegeln anbringen wollte, die wieder nur mit Nägeln befestigt werden. Fig. 179 zeigt die Vorkehrung dieser Art, die bei den Rammen am Ems-Canale getroffen war; jede Knagge ist da, wo sie die Pfannen trägt, durch 2 Bolzen gehalten und die Knaggen verbreiten sich noch im obern Theile, so dass sie zugleich die Stelle der Backen versehen. Man muss aber statt der Knaggen schon Riegel anwenden, welche weiter rückwärts die Pfannen tragen, sobald das Rad so gross wird, dass seine Axe mehr als einige Zolle weit hinter die Läuferruthe trifft. Sehr einfach wird diese Anordnung, wie Fig. 180 (in der Seitenansicht und im horizontalen Querschnitte durch die Axe der Scheibe) zeigt, sobald die Ramme zwei Läuferruthen hat. An jede derselben bolzt man nämlich von aussen einen Riegel und beide Riegel sind auf der andern Seite wieder mit der Strebe oder Stütze durch einen Schraubenbolzen verbunden. Es ist dabei nur nothwendig, dass die Stütze immer eine bestimmte Neigung gegen die Läuferruthe behält.

Endlich geschieht es auch noch zuweilen, dass man zwei Scheiben anwendet, und wenn dieselben recht gross sind, so kann man dadurch den wichtigen Vortheil erreichen, dass die beiden Rammtaue, die darüber geführt sind, schon in einer bedeutenden Entfernung von einander herabhängen und sonach die Arbeiter von einem oder dem andern weniger weit abstehen und daher die Zugleinen minder schräge gerichtet sind, als wenn sie sämmtlich an einem Rammtaue befestigt wären. Fig. 181 zeigt die Befestigungsart zweier Scheiben von 5 Fuss Durchmesser, wie ich solche bei den Rammen im Havre sah. Jede Scheibe hat neben sich zwei Riegel, die theils auf einer gegen die Stütze gebolzten und durch Bänder unterstützten Schwelle aufliegen und theils gegen die Läuferruthen und zwei Stiele mit Bolzen befestigt sind; diese Stiele stehen auf einer andern Schwelle auf, welche wieder in gleicher Art, wie die erwähnte, von den Läuferruthen getragen wird. Hierbei waren an die Oese des Rammklotzes zwei Taue angesteckt, die dicht neben einander herauf liefen, und indem sie über die beiden Scheiben geführt waren, so entfernten sich ihre hintern Enden schon 7 Fuss von einander.

Es ist bisher nur von den hölzernen Scheiben die Rede gewesen, zuweilen versieht man die Ramme aber auch mit gusseisernen Scheiben, oder es geschieht wohl, dass man die Rille in der hölzernen Scheibe, um ein Abschleifen zu verhindern, mit eisernen Schienen ausfüttert. Das erste kommt bei den bessern Rammen in England ganz gewöhnlich vor und das letzte sieht man nicht selten in Frankreich und namentlich da, wo grössere Scheiben benutzt werden. Man glaubt häufig, dass das Rammtau, wenn es über Eisen oder überhaupt über Metall läuft, stark angegriffen wird, und namentlich, dass es sich dabei schnell erhitzt und auf diese Art leidet. Die Erhitzung steht in genauer Beziehung zur Reibung, wenn daher letztere sehr gross ist, so wird auch die Abnutzung bedeutend werden und gewiss noch um so grösser, wenn die Wärme so zunehmen sollte, dass das Tau etwa zu rauchen anfinge. Ich habe häufig mit gusseisernen Rammscheiben arbeiten lassen, aber dabei nie eine Erwärmung der Scheibe und ebensowenig des Taues wahrgenommen. Die Reibung und die daraus hervorgehende Abnutzung des Taues kann bei Anwendung gusseiserner Scheiben oder eiserner Schienen

sehr bedeutend und viel grösser werden, als sie es beim Holze jemals ist, wenn das Eisen noch die rauhe Gussfläche hat, oder die Schienen mit einer groben Feile bearbeitet sind und wohl gar vorstehende scharfe Ränder haben. Man muss also möglichst dafür sorgen, vor dem Gebrauche solche Unebenheiten zu entfernen; der Nachtheil derselben ist hier viel grösser, als bei einer andern Benutzungsart der Scheiben, indem, wie bereits früher erwähnt, beim Aufschlagen des Rammklotzes die Scheibe sich noch weiter dreht, während das Tau festgehalten wird, und diese Bewegung der Scheibe wird um so länger dauern, je grösser ihr Gewicht und namentlich das ihres Kranzes ist. In der letzten Beziehung zeigt sich das Gusseisen aber gar nicht so ungünstig, denn wenn es auch ein sehr viel grösseres specifisches Gewicht als das Holz hat, so darf es dagegen auch viel schwächer gehalten werden, indem die vortretenden Ränder, welche die vertiefte Rille bilden, schon die Stelle von Verstärkungsrippen versehen, und wenn sonach eine gusseiserne Scheibe auch immer noch schwerer bleibt als eine hölzerne, so ist der Unterschied des Gewichtes dennoch nicht so bedeutend, dass er das Moment der Bewegung auf eine nachtheilige Art vermehren könnte. Der sehr wichtige Vortheil der gusseisernen Scheiben ist aber ihre Dauer und Festigkeit, auch lässt sich die Axe darin viel sicherer anbringen, so dass die Drehung immer weit regelmässiger als bei hölzernen Scheiben erfolgt; dazu kommt aber noch, dass sie sich bei längerem Gebrauche sehr glatt auslaufen und sie in der Rille mit der Zeit eine solche Politur annehmen, als wenn sie aufs Feinste ausgeschliffen wären, und alsdann möchte wohl die Abnutzung des Taues hier viel geringer sein, als wenn die Scheiben aus Holz bestehen.

Fig. 182 zeigt eine gusseiserne Scheibe, ähnlich der, welche bei Gelegenheit der Scheerramme (Fig. 168) erwähnt ist; man kann diese bei kleineren Rammen sehr zweckmässig benutzen und sie ist auch sonst ein sehr brauchbares Inventarienstück auf jeder grösseren Baustelle. Ihre Construction ergiebt sich aus den Figuren und es ist dabei nur zu erwähnen, dass die Axe in der Scheibe festgekeilt ist und sie auf Pfannen ruht, welche seitwärts vor der Fassung vortreten; diese Fassung aber besteht aus zweien geschmiedeten Platten, die mittelst dreier Riegel mit

einander verbunden sind; jeder Riegel ist an jeder Seite mit einer Schraubenspindel versehen und durch jede Platte greifen drei solche Spindeln, die mittelst Muttern fest angezogen werden; zwischen dem eigentlichen Riegel und dem Schraubengewinde befindet sich noch ein kurzer Theil mit quadratischem Querschnitte, dieser steckt in der Fassung und hindert das Drehen des Riegels, während die Schraubenmutter angezogen wird. Wenn die Riegel passend ausgefeilt sind, so erhält die ganze Fassung der Scheibe eine sehr grosse Festigkeit. Es ist aber noch zu bemerken, dass durch die Mitte des obern Riegels ein Haken hindurchgreift, der unten mit einem Knopfe versehen ist und einen Wirbel bildet.

Das Rammtau ist jederzeit derjenige Theil des Apparats, der am schnellsten abgängig wird, und es trägt dazu hauptsächlich das stossweise Anziehen bei, wodurch das Tau nicht dauernd in einer gewissen Spannung erhalten wird, sondern eine solche abwechselnd immer eintritt und sogleich wieder aufhört. Aus diesem Grunde muss das Tau eine viel grössere Stärke erhalten, als wenn es nur dazu dienen sollte, das Gewicht des Rammklotzes entweder ruhend zu tragen, oder mit mässiger Geschwindigkeit zu heben. Andererseits ist aber ein grosser Durchmesser und ein grosses Gewicht für das Tau auch sehr nachtheilig, denn durch den erstern vermehrt sich die Steifigkeit und sonach auch die nöthige Kraft, die zur Ueberwindung derselben erforderlich ist, und das grosse Gewicht des Taues vermindert wieder den Effect des Klotzes beim Herabfallen. Aus diesem Grunde ist es zweckmässig, die beste Sorte Tauwerk, die man nur bekommen kann, hier zu wählen; die Mehrkosten dafür werden, abgesehen von den übrigen Vortheilen, durch die längere Dauer desselben auch schon reichlich ersetzt; die Bedingung ist aber diese, dass das Rammtau bei geringem Durchmesser und Gewichte recht fest und dabei möglichst biegsam sein muss. Getheertes Tauwerk ist aus dem letzten Grunde ganz unpassend; man hat vorzugsweise darauf zu sehen, dass das Tau aus reinem Hanfe gesponnen wird, man überzeugt sich davon, wenn man ein Ende aufzerrt und es in die einzelnen Stränge und Drähte zerlegt und man selbst diese noch löst und zusieht, ob überall recht feine und biegsame Fäden vorkommen, oder ob dieses nicht der Fall ist und vielleicht gar dazwischen noch Stückchen von

der holzigen Masse des Hanfstengels befindlich sind. Im letzteren Falle ist das Tau schon im Allgemeinen von geringem Werthe und als Rammtau ist es ganz unbrauchbar. Ferner ist es vortheilhaft, das Rammtau links spinnen zu lassen; es werden nämlich gewöhnlich alle Drähte, sowie auch die Stränge, die schon aus den einzelnen Drähten (oder den zuerst gesponnenen Fäden) bestehen, rechts gesponnen, das heisst die Windung ist in derselben Richtung angebracht, wie bei der gewöhnlichen Schraube; hält man den Strang oder den Faden senkrecht vor sich, so bemerkt man, wie die Windung von der linken Seite nach der rechten ansteigt. Werden nun ferner die Stränge zu einem Tau verbunden, so spinnt man sie gewöhnlich auch wieder rechts; links gesponnen ist aber dasjenige Tau, wo die Windung der Stränge derjenigen der einzelnen Fäden entgegengesetzt ist; hält man ein solches Tau wieder vor sich, so bemerkt man, dass die Windung von der rechten Seite nach der linken ansteigt. In diesem Falle vermindert sich etwas die Steifigkeit der einzelnen Fäden und das Tau wird dadurch biegsamer, man behauptet aber, dass es sich stärker reckt oder ausdehnt, als das rechts gesponnene, was jedoch bei dieser Anwendungsart nicht gerade nachtheilig ist.

Wenn das Tau aus recht gutem Materiale gesponnen ist, so genügt eine Stärke von 16 Linien im Durchmesser *) für einen 12 Centner schweren Klotz, und ein solches Tau pflegt sich noch bei fortgesetztem Gebrauche während der gewöhnlichen Arbeitsstunden einige Monate hindurch ohne Beschädigung zu erhalten. Zuerst wird es da angegriffen, wo es die Rammscheibe trifft, während der Klotz auf dem Pfahle steht. Diese Stelle ist nun zwar bald höher und bald tiefer; da aber die Anzahl der Schläge auf jeden Pfahl, so lange er noch schnell eindringt, sehr unbedeutend gegen diejenige bleibt, die ihn trifft, wenn er schon beinahe seine ganze Tiefe erreicht hat, so bestimmt sich die Stelle der stärksten Beschädigung im Rammtaue nach der Tiefe, zu welcher die Pfähle durchschnittlich eingerammt werden. Wenn

*) Bei Ankertauen und überhaupt bei der Takelage der Seeschiffe pflegt man unter der Benennung Stärke eines Taues nicht den Durchmesser, sondern den Umfang zu verstehen, doch ist diese ungewöhnliche Bedeutung hier nicht angenommen.

diese Stelle nicht gerade in die Mitte des Taues trifft, so kann man, sobald sich Beschädigungen zeigen, dasselbe noch umkehren und das Ende, woran früher die Zugleinen angesteckt waren, an der Oese des Klotzes befestigen.

Das Anbinden des Taues gegen den Klotz geschieht in ähnlicher Art, wie dieses bei Gelegenheit der Befestigung des Gestänges beim Bohren Artesischer Brunnen (§. 10) erwähnt ist, und zwar ebensowohl, wenn eine hölzerne, als wenn eine eiserne Oese am Rammklotze angebracht ist; im letzten Falle darf man indessen das Tau nicht unmittelbar um diese Oese oder die Kramme schlingen, weil hier die Windung gar zu kurz ist, und der Gebrauch der ringförmigen eisernen Rinne oder der Kausche ist hier auch nicht passend, indem eine solche sich bei den starken Stössen zu leicht verbiegt; es ist also passender, die Kramme einige Zolle hoch, zuerst mit altem Tauwerk und sodann mit Leinen zu umwinden, wodurch eine noch viel weichere Unterlage gebildet wird, als die hölzerne Oese darbieten kann. Aber auch der Knoten im Tau muss hier mit grösserer Vorsicht gemacht werden, und es ist gewöhnlich, dass, wenn auf die in Fig. 14 Taf. I. dargestellte Art der Schlag gemacht ist, man das kurze lose Ende des Taues in die einzelnen Stränge zerlegt und jeden derselben mehrmals zwischen den Strängen des andern Taues hindurchzieht; um die letzteren von einander zu trennen, dient ein starker eiserner Dorn. Wenn diese Arbeit sorgfältig gemacht wird, so erhält das Tau wieder eine regelmässige Rundung, und eben hierdurch überzeugt man sich, dass alle Theile desselben noch gleichmässig tragen. Ein starker Faden wird alsdann noch möglichst fest darumgewunden und zwar über die ganze Strecke, wo das kurze Ende versteckt ist.

An dem von der Scheibe herabhängenden Theile des Rammtaues sind die Zugleinen angesteckt, deren Anzahl eben so gross ist, wie die der Arbeiter; sie dürfen nur etwa ein Viertelzoll stark sein; es kommt aber sehr darauf an, dass sie die nöthige Länge haben und recht hoch am Rammtaue befestigt sind; die Arbeiter müssen sich nämlich nach Maassgabe ihrer Anzahl rings um das Rammtau gehörig gruppiren und sonach sind die äusseren oft 10 Fuss und noch weiter von demselben entfernt; trifft es sich nun, dass die Zugleinen nur um ein Geringes länger

sind, als dieser horizontale Abstand misst, so ist der Zug, den sie an denselben ausüben, schon nahe horizontal, und sie können in diesem Falle nicht nur eine geringe Kraft entwickeln, sondern ausserdem überträgt sich auf das Rammtau auch nur der Theil von dieser Kraft, der vertical abwärts gerichtet ist, und der horizontale Theil derselben wird durch den entgegengesetzten Zug aufgehoben, den die auf der andern Seite stehenden Arbeiter ausüben müssen, wenn nicht das ganze Rammtau eine schräge Stellung annehmen soll. Es ergiebt sich hieraus der Vortheil, den die Anwendung zweier grossen Scheiben (Fig. 181) gewährt, und es muss bemerkt werden, dass man auch noch andere Mittel angewendet hat, um für die ganze Mannschaft einen mehr senkrechten Zug möglich zu machen. Hierher gehört namentlich, dass man einen grossen eisernen Reif von etwa 10 Fuss Durchmesser durch drei oder vier starke Leinen an das Rammtau horizontal aufhängt und an diesem die Zugleinen befestigt *); auch wählt man statt dessen zuweilen nur einen Baum oder eine Bohle, wie dieses in Holland vorkommt, wodurch gleichfalls die Zugleinen etwas weiter auseinandergebracht werden können, aber ein Uebelstand ist es hierbei immer, dass man ein Gegengewicht erzeugt, wodurch der Schlag des Rammklotzes sehr geschwächt wird, und es pflegen dabei auch wohl unangenehme Schwankungen einzutreten, welche ein scharfes und kräftiges Anziehen verhindern. Das vortheilhafteste und einfachste Mittel zur Verhinderung eines sehr schrägen Zuges bleibt sonach immer die Anwendung recht langer Zugleinen.

Demnächst ist es erforderlich, dass die Knebel oder die in den Zugleinen befestigten Handhaben, woran die Arbeiter den Zug äussern, immer in der passenden Höhe sich befinden; wenn dieses aber auch in einer gewissen Zeit der Fall ist, so behalten sie doch nicht lange diese Stelle, denn wie der Pfahl weiter eingeschlagen wird, so hebt sich auch der Knebel höher und der Arbeiter ist alsdann nicht mehr im Stande, den kräftigen Zug daran auszuüben. Hiernach muss in kurzen Zwischenräumen immer ein Verstellen vorgenommen werden und dieses kann auf zwei verschiedene Arten geschehen, nämlich entweder sind die sämmt-

*) *Perronet description des ponts. p.* 589.

lichen Zugleinen an ein besonderes kreisförmig gewundenes Tau, das sogenannte Kranztau gebunden, und dieses steckt man, sobald es nöthig ist, mittelst eines hölzernen Pflockes immer höher an dem Rammtau fest. Fig. 183 zeigt die gewöhnliche Befestigungsart des Kranztaues, und man bemerkt leicht, wie durch die Entfernung des Pflockes sogleich die durch das Kranztau hindurchgezogene Windung des Rammtaues frei wird und sich dadurch die Verbindung sogleich löst. Andererseits lässt man aber auch das Kranztau ganz fort, indem man die Zugleinen unmittelbar an das Rammtau bindet, und jeder Arbeiter kann den Knebel in der passenden Höhe befestigen und darin erhalten. In diesem Falle wird das Ende der Zugleine um den Knebel gewunden, und indem man die letzte Windung verkehrt aufsteckt, so bildet sich die Befestigungsart, die Fig. 184 zeigt. Der Arbeiter kann den Knebel mit aller Kraft herabziehen, ohne dass er die Leine löst, sobald er aber den Knebel in der durch den Pfeil angedeuteten Richtung zurückdreht, so verlängert sich sogleich von selbst die Zugleine.

Die letzte Methode hat zwar den Nachtheil, dass man lange Zugleinen braucht und dass dieselben dennoch, sobald ein neuer Pfahl gesetzt ist, ziemlich niedrig am Rammtau hängen, wodurch der Zug sehr schräge wird; der letzte Umstand ist aber insofern von keiner Bedeutung, als der eben gesetzte und daher noch lose Pfahl nur schwache Schläge bedarf, um schnell einzudringen. Die Arbeiter pflegen in dieser Zeit auch gar nicht die Knebel zu benutzen, sie ziehen vielmehr die Zugleinen und das Rammtau nur mit den Händen herab und lassen auf solche Art den Klotz kaum einen Fuss weit herabfallen, und es ist auch nothwendig, dass Anfangs keine starken Schläge erfolgen, weil dabei der Pfahl zu leicht eine schiefe Richtung annehmen möchte. Viel wesentlicher sind die Uebelstände, welche die Anwendung des Kranztaues mit sich führt; in den Pausen zwischen den einzelnen Hitzen kann die nöthige Verstellung des Taues zwar vorgenommen werden, wenn jedoch dabei die Arbeitszeit nicht gekürzt werden soll, so ist hierzu ein besonderer Arbeiter erforderlich und dieser muss sehr aufmerksam sein und immer genau in der passenden Höhe das Kranztau feststecken, weil sonst einzelne Hitzen entweder ganz ausfallen, oder sie doch mit weit geringerer Kraft geschlagen

werden; ferner leidet das Rammtau durch die scharfen Windungen, die es hier beim Feststecken annehmen muss, um so mehr, als es jedesmal, nachdem das Kranztau verstellt wurde, immer von Neuem festgezogen wird; endlich aber verlangen die Arbeiter, jenachdem sie näher am Rammtaue stehen und sie eine verschiedene Statur haben, auch eine verschiedene Höhe des Knebels. Aus dem letzten Grunde muss man selbst in dem Falle, wenn das Kranztau angewendet wird, dennoch die beschriebene Befestigungsart der Knebel beibehalten, damit jeder diesen nach Belieben sich verstellen kann. Es hat indessen die unmittelbare Befestigung der Zugleinen an dem Rammtaue keine Unbequemlichkeiten und dieses auch in dem Falle nicht, wenn die Pfähle bis zu 30 Fuss Tiefe eingeschlagen werden sollen; man erspart dabei aber noch ein Bedeutendes an der Länge des Rammtaues, denn dasselbe darf, wenn der Klotz an seiner tiefsten Stelle steht, nur etwa 3 Fuss über die Rammscheibe reichen, und in diesem Falle ist ein Umkehren des Taues, wie oben erwähnt worden, immer zulässig, sobald sich Beschädigungen darin zeigen.

Was die Ausführung der Rammarbeiten betrifft, so werden die Arbeiter rings um das Rammtau gestellt, so dass sie alle mit dem Gesichte demselben zugekehrt sind; sie dürfen dabei nicht zu dicht neben- und hintereinander stehen und man muss auf jeden wenigstens einen Flächenraum von 5 bis 6 Quadratfuss rechnen; eine zu grosse Verbreitung ist andererseits aber auch nachtheilig, indem alsdann die Zugleinen gar zu schräge gerichtet werden. Für den Knebel, der in einem cylindrisch zugeschnittenen Holze von $1\frac{1}{2}$ Zoll Durchmesser besteht, genügt eine Länge von 12 Zoll, wenn nur das Ende der Zugleine daran gebunden wird; er muss aber mindestens 15 Zoll messen, wenn noch 20 bis 25 Fuss Zugleinen darum geschlungen werden sollen; die Windungen dürfen in diesem Falle immer nur in der Mitte bleiben und nie darf der Arbeiter während des Rammens darüber fassen, weil er sonst zu unbequem den Knebel halten würde. Die passendste Höhe für den Knebel ist diese, dass derselbe, sobald der Klotz auf dem Pfahle aufsteht, vor den Augen des Arbeiters schwebt, wenigstens ist dieses nothwendig, wenn man den einzelnen Arbeiter mit mehr als 30 Pfund belastet; trifft auf jeden ein geringeres Gewicht, so ist es vortheilhaft, den Knebel noch einige Zolle

über dem Kopfe hängen zu lassen, wodurch die Höhe des Zuges vermehrt wird. Der Arbeiter fasst mit beiden Händen von oben über den Knebel und drückt denselben abwärts; dieses geschieht im Anfange jedes Zuges mit einer mässigen Geschwindigkeit, indem theils die Masse in Bewegung gesetzt werden muss und theils auch die Kraftäusserung noch ziemlich unbequem ist. Je weiter indessen der Knebel herabgezogen worden, um so vortheilhafter lässt sich der Druck dagegen ausüben. Zuletzt wird der Knebel mit steifen Armen nicht mehr gedrückt, sondern heftig gestossen, so dass der Klotz vermöge der erhaltenen Geschwindigkeit noch merklich höher heraufspringt und dadurch der Effect des Schlages sich ansehnlich vermehrt. Die ganze Höhe des Zuges oder die Tiefe, zu der der Knebel herabgedrückt wird, beträgt nur $3\frac{1}{2}$ Fuss, in seltenen Fällen 4 Fuss; es ist indessen ganz gewöhnlich, dass der Klotz 4 Fuss hoch springt, er gewinnt also gemeinhin einen halben Fuss Hubhöhe durch den Stoss, den er am Ende des Zuges noch erhalten hat. Man kann bei der gewöhnlichen Bemannung der Rammen in einzelnen Hitzen auch leicht die Hubhöhe bis auf 5 Fuss vermehren, und wenn die Arbeiter gerade recht animirt werden, so lassen sie wohl während einer geringen Anzahl von Schlägen den Rammklotz 6 bis 7 Fuss hoch springen. Büsch erzählt sogar, wie er gesehen hätte, dass bei Gelegenheit einer Wette ein 1800 Pfund schwerer Rammklotz durch 40 Menschen einmal 10 Fuss hoch geschleudert wurde. Man muss indessen dieses keineswegs als Norm ansehen und eine solche Leistung dauernd verlangen wollen, man kann vielmehr zufrieden sein, wenn durchschnittlich während der ganzen Arbeitszeit die Hubhöhe 4 Fuss beträgt. Man verwechselt hierbei, wie es auch sonst in der Maschinenlehre oft geschieht, die dauernde Arbeit mit einzelnen Probestücken, welche die Aufseher immer gern veranlassen mögen, sobald eine Besichtigung des Baues erfolgt, und die Arbeiter sind auch geneigt, in solchen Fällen sich besonders stark anzustrengen, da sie eben hierdurch auf eine grössere Nachsicht während der übrigen Arbeitszeit Ansprüche erwerben; dieses Verfahren ist aber für den Bau immer nachtheilig, da im Allgemeinen die Leistung hierdurch geringer wird, als sie bei angemessenen Anforderungen sein könnte, wenn auf deren Erfüllung mit Strenge gesehen würde.

Bei uns rechnet man gewöhnlich auf jeden Mann ein Gewicht von 33 Pfund, wenn also der Rammklotz 6 Centner wiegt, so werden 20 Mann angestellt werden. Man weicht indessen häufig von diesem Satze bedeutend ab, indem man die Anzahl der Arbeiter entweder vermindert oder vermehrt. Bei den Rammarbeiten, die ich in den französischen Seehäfen ausführen sah, belastete man jeden einzelnen Arbeiter mit mehr als 40 Pfunden, doch rechtfertigte sich dieses dadurch, dass man nur während drei Stunden zur Zeit der Ebben arbeiten konnte, es gab also höchstens 6 Arbeitsstunden am Tage und deshalb durfte man allerdings eine grössere Anstrengung verlangen. Bei den Arbeiten an der Brücke zu Orleans hatte man für die Ramme von 600 Pfund 16 Mann angestellt, es traf also auf jeden ein Gewicht von 37½ Pfund; in England rechnet man wieder auf 100 Pfund 3 Mann, was mit der ersten Angabe übereinstimmt. Sehr häufig geschieht es aber, und dieses ist eigentlich der gewöhnliche Fall, dass man den einzelnen Arbeiter viel weniger belastet. Perronet sagt in der Abhandlung über die Grundpfähle *), dass man bei Rammklötzen

von 600 Pfund 24 Arbeiter
 - 700 - 28 -
 - 1200 - 48 -

anstellen müsse, es trifft also auf jeden nur ein Gewicht von 25 Pfunden. Auch de Cessart stellte bei der Brücke zu Saumur bei einer Ramme, deren Klotz 1200 Pfund wog, 47 bis 50 Mann an. In Holland rechnet man gleichfalls auf den Mann nur 25 Pfund. Bei den sehr ausgedehnten Arbeiten am Ems-Canale, welche der Ober-Baurath Dammert mit der grössten Sorgfalt leitete, wurden die grössten Rammen, deren Klotz 2000 Pfund wog, mit 70 Mann besetzt, der einzelne Arbeiter zog also 28½ Pfund. Diese geringe Belastung scheint sehr angemessen zu sein und man wird immer finden, dass wenn der Zug schon gegen 30 Pfunde beträgt, dass alsdann mit viel geringerer Energie gearbeitet wird, auch die Pausen viel länger dauern und sonach die Leistung im Allgemeinen schwächer wird. Es tritt hier dasselbe Verhältniss ein, wie bei jeder andern Maschine; der Effect setzt sich zusammen aus dem Producte des Zuges oder der Spannung in die Geschwindigkeit,

*) *Description des ponts.* p. 588.

womit derselbe ausgeübt wird, jemehr man den erstern vergrössert, um so geringer wird die letzte, und das Maximum des Effectes erreicht man gewöhnlich, wenn der Zug bedeutend unter seinem Maximum ist. Bei den Rammarbeiten kann es freilich unter Umständen vortheilhaft werden, die Anzahl der Arbeiter zu vermindern und sonach jeden einzelnen stärker zu belasten; dieses ist namentlich der Fall, wenn eine grosse Mannschaft angestellt wird, die nur bei dem eigentlichen Rammen ihre volle Beschäftigung findet und während der vielfachen Nebenarbeiten beim Verfahren der Ramme und beim Setzen der Pfähle grossentheils nicht gehörig beschäftigt werden kann, und namentlich giebt es im Anfange des Eintreibens jedes Pfahles sehr vielfachen Aufenthalt, da er seine Richtung so leicht verliert. Man thut indessen nicht wohl daran, hier schon den schweren Rammklotz zu benutzen, und wenn die Arbeit einige Ausdehnung hat, so ist es viel vortheilhafter, sich *zweier Rammen* zu bedienen, von denen die eine mit einem leichten Rammklotze von 3 bis 4 Centner versehen ist. Diese geht voran und 12 bis 16 Mann dabei sind ganz ausreichend, um die schwersten Pfähle zu setzen, und so lange sie noch keinen grossen Widerstand finden, auch einzutreiben. Wenn die Pfähle aber schon einigermaassen feststehen, so folgt die zweite Ramme mit dem schweren Klotze und der stärkeren Bemannung; die Arbeit der letzteren wird nur während des Verfahrens unterbrochen, ein Richten und Absteifen des Pfahles und ein vielfaches Verstellen der Ramme, um den Angriffspunkt nach Umständen zu verändern, ist nicht mehr nöthig, denn der Pfahl ist schon so tief eingedrungen, dass er seine Richtung nicht leicht verlassen kann. Der Klotz spielt hierbei aber immer in einer geringen Höhe und sonach braucht die Ramme nur niedrig zu sein. Bei den bedeutenden Rammarbeiten, die sich in Pillau in jedem Jahre wiederholten, hatte ich diese Anordnung eingeführt und sie zeigte sich sehr vortheilhaft.

Die Rammarbeit ist so anstrengend, dass sie durch vielfache *Pausen* unterbrochen werden muss. Es erfolgen jedesmal 20 bis 25 Schläge unmittelbar aufeinander; man nennt dieses eine *Hitze* und alsdann tritt eine Pause von 2 bis 3 Minuten ein. Ein kräftiger und zuverlässiger Arbeiter, der bei der übrigen Mannschaft in Achtung stehen muss, leitet durch seinen Zuruf diese

Arbeit; er führt gewöhnlich nicht eine Zugleine, sondern hält das Haupttau und steht sonach in der Mitte der Arbeiter; da das hintere Ende des Rammtaues gemeinhin das Schwanztau genannt wird, so heisst er der Schwanzmeister. Wenn man, wie oben erwähnt worden, ein neues Rammtau nur in der Länge anfertigen lässt, dass die Zugleinen bequem angesteckt werden können, so ist das Schwanztau nicht vorhanden, was an sich ohne allen Nachtheil wäre und in Frankreich auch ganz üblich ist, die Arbeiter pflegen indessen hiermit nicht zufrieden zu sein und man muss wenigstens gestatten, dass ein Ende des unbrauchbar gewordenen alten Taues noch als Schwanztau angesteckt wird.

Wenn auf alle drei Minuten eine Hitze trifft, so werden in der Stunde 20 derselben vorkommen und während der 10 Arbeitsstunden 200; dieses kann man aber nicht erreichen und man bringt es sogar selten auf 150; de Cessart erzählt, wie er nur mit recht starken Arbeitern, die überdies für jede Hitze besonders bezahlt wurden, es bis zu 170 Hitzen am Tage bringen konnte. Es ergiebt sich hieraus, dass die Tagesthätigkeit eines bei der Ramme angestellten Arbeiters, oder die Anzahl Pfunde, womit er belastet ist, multiplizirt in die ganze Höhe, zu welcher er sie erhebt, nur ungefähr 300000 beträgt; Coulomb *) führt an, dass bei einer Münze in Paris, wo über die Anzahl der wirklich gemachten Schläge kein Zweifel stattfinden konnte, sich bei der Ramme die Tagesthätigkeit eines Arbeiters durchschnittlich nur auf 270000 belief. Da nun aber die Tagesthätigkeit beim Drehen einer Kurbel 790000 und beim Steigen sogar 1400000 beträgt, so ergiebt es sich, dass die Arbeiter bei der gewöhnlichen Ramme sehr unvortheilhaft angestellt werden und der Effect viel grösser ausfallen würde, wenn man statt des so sehr ermüdenden stossweisen Anziehens eine gleichmässige Kraftentwickelung zur Bewegung der Ramme anwenden könnte.

Ein anderer Uebelstand, der wieder die Wirksamkeit der Zugrammen schwächt, beruht darauf, dass so viele Arbeiter zugleich angestellt sind und es unmöglich ist, die Leistung des Einzelnen genau zu beurtheilen. Man muss bei allen Verrichtungen,

*) *Théorie des Machines simples, nouvelle édition.* Paris 1821. *pag.* 283.

wenn sie nicht auf Accord ausgeführt werden, die Arbeiter möglichst zu trennen suchen, damit man den Fleiss jedes Einzelnen zu beurtheilen im Stande ist; bei der Ramme ist dieses eben so wenig möglich, als ein Arbeiten auf Accord sich dabei leicht einführen lässt; dem letzten stehen aber die vielen Zufälligkeiten entgegen, die namentlich in der Ungleichmässigkeit des Baugrundes liegen und welche eine Vorherbestimmung der Arbeitszeit für jeden Pfahl nicht zulassen, und selbst in dem Falle nicht, wenn bereits mehrere Pfähle auf derselben Baustelle eingerammt sind. Eine Uebertragung des Risicos auf den unbemittelten Tagelöhner ist aber durchaus unbillig, sie ist auch nur durch sehr grosse Zugeständnisse zu erlangen, so dass dabei für den Baufonds kein Vortheil erreicht werden kann. Es kommt daher ein Ausführen der Rammarbeiten auf Accord beinahe nie vor und höchstens kann man, wie de Cessart es that, in Betreff der Anzahl von Hitzen, die täglich geschlagen werden, einen Accord abschliessen, wobei aber eine sehr genaue und zuverlässige Aufsicht erforderlich wird und nicht nur die Anzahl der Hitzen, sondern auch die der Schläge in jeder Hitze und die Erhebung des Klotzes controlirt werden muss, was nicht leicht ist. Gemeinhin begnügt man sich damit, einen tüchtigen Schwanzmeister anzustellen, der guten Willen hat und dem die Leute zu folgen geneigt sind; wenn aber mehrere zuverlässige Arbeiter in der Mannschaft sich befinden, so beurtheilen sie ihre Cameraden sehr richtig und leiden es nicht, dass einzelne darunter sich zu wenig anstrengen. Die schlechtesten Arbeiter erkennt man auch daran, dass ihre Zugleinen beim Niederfallen des Klotzes steif bleiben; sie lassen sich nämlich, wenn sie sich mit den andern auch zugleich gebückt haben, durch den Klotz wieder heraufziehen und schwächen dadurch natürlich in hohem Grade die Kraft des Schlages. Man muss also bei der Beaufsichtigung von Rammarbeiten vorzugsweise hierauf aufmerksam sein, und wenn man sieht, dass einzelne Leinen nie schlaff werden, sondern immer gespannt bleiben, die betreffenden Arbeiter gleich entfernen.

Bei Beschreibung der Rammgerüste ist schon von den Vorkehrungen zum S e t z e n der Pfähle die Rede gewesen; gemeinhin werden zu diesem Zwecke Winden angebracht, wodurch man freilich den Pfahl sehr sicher heben kann, indessen ist es dabei

ein Nachtheil, dass dieses nur durch die Kraft von sehr wenigen Arbeitern und daher sehr langsam geschieht, während die übrigen in dieser Zeit ganz unbeschäftigt bleiben. Häufig fehlt die Winde, und es befindet sich am Kopfe der Ramme nur ein Haken, woran man einen Flaschenzug hängen kann. Letzterer gehört auf jeder grösseren Baustelle zu den nothwendigsten Inventarienstücken und es wird daher eine nähere Beschreibung der Construction und Erfordernisse desselben nicht überflüssig sein.

Der Flaschenzug oder das Takel besteht bekanntlich aus zwei Blöcken und jeder derselben kann eine oder mehrere Scheiben oder Rollen enthalten, man nennt ihn hiernach einen einscheibigen, zweischeibigen Block u. s. w. Wenn mehrere Scheiben in dem Blocke eingezogen sind, so stehen sie immer nebeneinander, so dass sie sich um eine gemeinschaftliche Axe drehen; nur bei ganz alten Blöcken sieht man zuweilen noch die in den Lehrbüchern der Mechanik übliche Anordnung, dass eine Scheibe unter der andern angebracht ist; solche Blöcke heissen Violinblöcke. Diese Einrichtung ist aber unzweckmässig, weil die auf der innern Seite des Flaschenzuges befindliche Scheibe sehr klein sein muss, damit die hier eingezogene Leine nicht gegen diejenige streift, welche über die äussere Scheibe läuft; ein solches Streifen von einer Leine gegen eine andere muss man aber immer vermeiden, weil dadurch nicht nur Reibung entsteht, sondern auch eine starke Abnutzung erfolgt; demnächst ist diese Anordnung aber auch kostbarer als jene, wo die Scheiben neben einander liegen und auf derselben Axe stecken, und es kommt dazu noch, dass die ganze Hubhöhe bei gleicher Befestigung oder bei gleicher Länge der eingeschornen Leine geringer wird.

Fig. 185 *a* und *b* stellt ein gewöhnliches dreischeibiges Block in der Ansicht von vorn und von der Seite dar, und Fig. 185 *c* zeigt dasselbe, nachdem es mit der Stroppe (einer Schlinge aus starkem Tau) und dem Haken versehen ist. Die Scheiben werden aus dem sehr festen und harzigen Guajak- oder Pockholze gedreht und eben daraus besteht auch der Nagel oder die Axe, auf der die Scheiben laufen. Dieses Holz ist nicht nur sehr fest und nutzt sich wenig ab, sondern es hat noch den Vorzug, dass es wegen seines starken Gehaltes an Harz nicht leicht Feuchtigkeit anzieht und es daher weder zu quellen, noch sich zu werfen

pflegt, wenn es auch einmal nass geworden oder nasses Tauwerk darüber gezogen ist. Der Nagel, der gleichfalls abgedreht ist, steckt nicht sehr fest in der Fassung, so dass er immer mit Leichtigkeit herausgeschlagen werden kann, er darf aber nicht so lose sein, dass er sich mit der Scheibe umdreht. Die Schmiere, die man hier von Zeit zu Zeit anbringt, und namentlich sobald der schrillende Ton beim Gebrauche des Takels sich hören lässt, besteht in reinem Talg; man schmiert dasselbe nicht nur in das Loch der Scheibe, sondern man reibt damit auch ihre beiden Seitenflächen ein, weil letztere sich immer gegen die Fassung lehnen. Beim Ankaufe eines Blockes muss man besonders darauf achten, dass die Schlitze für die Scheiben unter sich parallel ausgeschnitten sind und das Bohrloch für den Nagel in beiden Richtungen auf jenen Schlitzen senkrecht steht; ferner müssen die Scheiben sich nicht gegen die Fassung klemmen, doch dürfen sie auch nicht zu viel Spielraum haben, und die Rille, worin die Stroppe zu liegen kommt, die aber in der Nähe des Nagels immer verschwindet, muss keine scharfen Ecken haben, damit das Tau in sanfter Biegung herumgeführt werden kann. Hat der Nagel sich beim Gebrauche etwas ausgelaufen, so kann man ihn noch umdrehen, da er nur auf der untern Seite angegriffen wird; sobald er aber merklich eingeschnitten ist, so muss man ihn durch einen andern ersetzen. Die Fassung besteht aus Eschenholz und dieses empfiehlt sich hierzu theils durch seine Härte, besonders aber durch seine Zähigkeit, indem es auch bei einem starken Stosse oder Schlage nicht leicht ausspringt oder splittert. Will man ein Block anwenden, so muss es mit der Stroppe versehen werden, dieselbe umfasst aber zugleich die Kausche (die ringförmig gebogene Rinne aus starkem Eisenblech), worin der Haken befestigt ist. Das Umlegen der Stroppe geschieht auf folgende Art: man zieht das Tau über die Kausche und das Block und schneidet es so ab, dass es etwa auf einen Fuss Länge doppelt ist; nachdem das Block entfernt ist, so zorrt man die Stränge der beiden Enden auf und verknüpft und versteckt diese sorgfältig gegenseitig ineinander, so dass sich hier wieder ein möglichst gleichmässiges Tau bildet. Man darf hierbei aber keineswegs ganz willkührlich die Stränge verstecken, sondern man muss der Windung des Taues folgen und überhaupt sich be-

mühen, alle Stränge so zu legen, als ob sie sämmtlich vom Seiler zusammengesponnen wären. Durch starkes Schlagen mit einem hölzernen Hammer reguliren sich noch die Windungen und man windet alsdann recht fest einen starken dünnen Faden um den zusammengesteckten Theil und verknüpft die Enden des Fadens, damit sie nicht lose werden. Nunmehr zieht man das Block wieder ein und nachdem man dasselbe gehörig gerichtet hat, windet man eine starke dünne Leine wieder besonders fest zwischen der Kausche und dem Blocke um die Stroppe, wodurch die gehörige Spannung und die sichere Lage der letztern erreicht wird. Hierbei kommt es nun besonders darauf an, dass, wenn das Block am Haken hängt, die Scheiben eine senkrechte Stellung annehmen, und man muss auch während des Gebrauches des Flaschenzuges hierauf immer aufmerksam bleiben, indem sehr leicht ein Verschieben erfolgt und dadurch nicht nur eine starke Reibung entsteht, sondern sich alsdann auch der ganze Block und die eingeschorne Leine sehr abnutzt. Durch die Stroppe wird von beiden Seiten der Nagel bedeckt, so dass er nicht herausfallen kann, doch pflegt die Stroppe bald so lose zu werden, dass man sie etwas seitwärts schieben und den Nagel herausziehen kann, wodurch das Einschmieren möglich wird. An dem einen von beiden Blöcken des Flaschenzuges muss nun noch die einzuscheerende Leine befestigt werden, und dieses geschieht entweder, indem man sie unmittelbar durch die Stroppe hindurchzieht und anknüpft, oder noch besser ist es, eine zweite Kausche auf der andern Seite des Blockes in der Stroppe gleich auf dieselbe Art, wie die erste, zu befestigen, worin alsdann das Ende der Leine jedesmal eingehakt werden kann.

An diesen Blöcken kommt ausser der Kausche gar kein Eisen vor, doch findet dieses nicht immer statt und häufig werden sie auch mit Eisen beschlagen; es leidet keinen Zweifel, dass sie im letzten Falle viel dauerhafter sind, doch vergrössert sich alsdann auch der Preis für sie merklich und das Aufbringen des Beschlages muss mit grosser Sorgfalt geschehen, wenn dadurch nicht die Reibung vermehrt werden soll. Es gehört überhaupt das Beschlagen eines Blockes zu den schwierigsten Schmiedearbeiten, und wenn man nicht die nöthige Sorgfalt und Geschicklichkeit dabei voraussetzen kann, so thut man besser, den Block

so zu benutzen, wie er aus der Hand des Blockmachers kommt, wobei die Scheiben und die Nägel immer gehörig abgedreht sind. Ein beschlagener Block erhält eine eiserne Axe und deshalb muss die Scheibe mit metallnen Büchsen versehen sein; die letzten werden gegenwärtig sehr häufig aus Gusseisen dargestellt und sie sind alsdann viel billiger, als wenn sie geschmiedet werden. Sie erhalten, wie Fig. 186 zeigt, drei Lappen, die Bohrlöcher in denselben sind nach aussen erweitert, damit man Nägel mit versenkten Köpfen einsetzen und dieselben auf der andern Seite der Scheibe, wo gleichfalls eine Büchse eingelassen ist, vernieten kann, so dass die Flächen auf beiden Seiten ganz eben bleiben und nirgends das Eisen vortritt, wodurch sonst die Fassung des Blockes leiden und die Scheiben selbst den guten Schluss verlieren würden. Das Einlassen der Büchsen in die Scheibe muss mit vieler Sorgfalt geschehen, damit die Löcher an beiden Seiten sich einander genau gegenüberstehen und in die Axe der Scheibe treffen; der Bolzen, um den die Scheiben sich drehen, muss genau cylindrisch geformt sein, und am besten ist es, wenn er abgedreht wird. Er ist auf der einen Seite mit einem Kopfe und auf der andern mit einem Schraubengewinde versehen, auf welches eine Mutter passt, die ihn fest hält. Damit er sich aber nicht etwa mit der Scheibe zugleich umdrehen kann, wodurch die Mutter sogleich gelöst werden würde, so ist er neben dem Kopfe viereckig ausgeschmiedet und dieselbe Form hat auch die Oeffnung in dem Beschlage der Fassung. Der eiserne Ring, der die Fassung des Blockes umgiebt, stellt sich mit hinreichender Deutlichkeit in Fig. 187 dar; er ist hier in der Art abgebildet, dass er am obern Ende einen Haken hat, der sich drehen lässt; häufig lässt man aber sowohl oben wie unten eine solche Oese anbringen, wie sie diese Figur am untern Ende zeigt und worin ein Haken oder Ring eingeschmiedet werden kann. Die Schwierigkeit besteht hierbei hauptsächlich darin, dass sowohl der obere Haken, als die untere Oese genau in die Längenaxe des Blockes fallen muss, oder wenn dasselbe am Haken oder der Oese aufgehängt wird, müssen die Scheiben sich in einer senkrechten Lage befinden. Ausserdem ist es auch nöthig, dass die Axenlöcher im Beschlage genau den Löchern im Blocke entsprechen, und endlich muss der Beschlag sich recht fest um das Block umlegen, ohne dass dieses

durch das glühende Eisen gelitten hat und wohl gar theilweise verkohlt ist. Der Bügel, der den Beschlag bilden soll, muss sonach unter wiederholtem Aufpassen auf den Block ausgeschmiedet werden, und damit dieses geschehen kann, so ist er unten noch nicht mit der engen Oese versehen, sondern nach einer weiteren Krümmung abgerundet; sobald er aber aufgelegt wird, so bildet man die untere Oese, indem man die Ecken zwischen derselben und dem Blocke einbiegt und dadurch zugleich den Beschlag recht fest aufspannt.

Wenn ein Pfahl gesetzt werden soll, so wird entweder das vordere Ende des Windetaues, das vom Krahnbalken herabhängt, oder wenn der Flaschenzug benutzt wird, ein am untern Blocke angesteckte Tau am Pfahle befestigt. Dieses geschieht am leichtesten auf die Fig. 188 dargestellte Art; die untere Schlinge, die nur durch Umlegung des Taues gebildet wird, ist allein schon hinreichend, die meisten Pfähle zu halten, wenn man nur, sobald sie zu tragen anfängt und ehe der Pfahl die horizontale Lage verlässt, sie recht fest anzieht, was durch Herabstossen der Schleife leicht zu bewirken ist. Wenn dagegen der Pfahl glatt ist, so dass ein Abgleiten zu besorgen ist, so bringt man noch den einfachen Schlag an, der im obern Theile derselben Figur dargestellt ist, und in manchen Fällen muss der Sicherheit wegen noch ein zweiter ähnlicher Schlag weiter aufwärts gemacht werden.

An der Leine, welche in den Flaschenzug eingeschoren ist, können nur zwei und höchstens drei Arbeiter unmittelbar ziehen, und selbst diese müssen Uebung haben, wenn sie gleichmässig und kräftig wirken sollen. Um nun aber auch die übrigen Arbeiter hierbei zu beschäftigen und dadurch theils das Heben des Pfahles überhaupt möglich zu machen und theils dieses zu beschleunigen, so befestigt man an der Schwelle der Ramme noch einen einscheibigen Block, der wegen der Stelle, wo er befestigt ist, der Fussblock genannt wird, zieht durch selbigen jene Leine und lässt an deren hinteres Ende, welches horizontal gerichtet ist, die ganze übrige Mannschaft anfassen; auf solche Art wird die ganze disponible Kraft zu diesem Zwecke gehörig benutzt, und wenn der Pfahl leicht, oder die Mannschaft sehr stark ist, so hebt letztere wohl nicht mehr stossweise, sondern im vollen Zuge den Pfahl und alsdann erfolgt das Setzen besonders geschwinde.

Man bringt den Pfahl so weit, dass er frei vor der Läuferruthe schwebt; der Rammklotz muss aber schon früher so hoch gehoben worden sein, dass er das gehörige Setzen des Pfahles nicht hindert, und er wird in dieser Stellung durch einen Vorsteckbolzen gehalten, den man in die dazu angebrachten Löcher in die Läuferruthe steckt. Der Pfahl wird, während er noch schwebt, in diejenige Richtung gebracht, in welcher er eingerammt werden soll, und wenn er vielleicht einige Krümmung zeigt, oder ein anderer Grund vorhanden ist, ihn in einer gewissen Lage einzurammen, so muss man ihm diese jetzt schon geben; man befestigt ihn aber sogleich durch ein umgeschlungenes Tau gegen die Läuferruthe und man hat auch die Gewohnheit, die Winde oder die Leine im Flaschenzuge plötzlich zu lösen, damit er mit Heftigkeit gleich in den Grund eindringt; dieses Verfahren ist aber nicht passend, indem wenige schwache Schläge mit dem Rammklotze schon dieselbe Wirkung hervorbringen und beim Herablassen des Pfahles die Rücksicht auf seine gehörige Einstellung besonders wichtig ist. Es ist also besser, dass man den Pfahl langsam herablässt, indem man ihn mit Hebeln oder Brechstangen und durch umgeschlungene Leinen leitet, und auch, nachdem seine Spitze schon in den Grund eingedrungen ist, darf man nicht aufhören, seine Stellung immer aufs Neue zu prüfen, und wenn man Abweichungen entdeckt, durch Verstellen der Ramme und durch Herüberziehen und Absteifen des Pfahles solche wieder zu entfernen, was im Anfange der Rammarbeit auch keine grosse Schwierigkeiten macht. Späterhin ist diese unausgesetzte Sorgfalt weniger nöthig und man hat alsdann auch kein Mittel mehr in Händen, die Richtung des Pfahles noch bedeutend zu verändern.

Häufig trifft es sich, und besonders kommt dieses bei Grundpfählen vor, dass der Pfahl so tief eingerammt werden soll, dass man ihn nicht mehr unmittelbar mit dem Rammklotze erreichen kann; bei der Scheerramme allein vermeidet man diesen Uebelstand, indem die Scheere sich leicht durch Einsetzen anderer Bäume verlängern lässt, und selbst bei der von Perronet benutzten Ramme (Fig. 166) kann man bis unter die Schwelle herab den Rammklotz spielen lassen. Bei den gewöhnlichen Rammen muss man in solchem Falle sich des Aufsetzers oder des Knechtes bedienen. Fig. 189 stellt denselben dar; er besteht in einem

eichenen Klotze, der oben mit zwei oder einem Arme versehen ist, die denen des Rammklotzes gleichkommen; mit diesen umfasst er die Läuferruthe, oder er greift durch selbige hindurch und wird auch dahinter wieder mit einem Riegel gehalten, so dass seine Stellung gegen die Läuferruthe gehörig gesichert ist. Am untern Ende ist er mit einem eisernen Dorne versehen von etwa 6 Zoll Länge und es greift dieser in ein Bohrloch, das im Pfahlkopfe angebracht ist. Sobald der Aufsetzer gebraucht werden soll, so wird zunächst der Kopf des Pfahles, der gemeinhin schon stumpf geschlagen ist, abgeschnitten und alsdann das Loch für den erwähnten Dorn eingebohrt, man muss aber darauf sehen, dass dieses an der passenden Stelle angebracht wird, damit der Aufsetzer in die Richtung der Läuferruthe und des Pfahles trifft. Bei Anwendung dieses Aufsetzers bemerkt man jedesmal eine sehr starke Schwächung des Effectes der Ramme, was eine Folge von der Uebertragung des Stosses von dem einen Klotze auf den andern ist; dieser Verlust wird aber noch viel bedeutender, wenn die Oberflächen des Pfahlkopfes und des Aufsetzers nicht recht festes Holz zeigen, oder sich nicht vollständig berühren.

Aus den Beobachtungen, die ich mit dem Modelle einer Ramme anstellte, ergab es sich, dass wenn abwechselnd eine gewisse Anzahl von Schlägen den Klotz unmittelbar traf, und demnächst eine eben so grosse Anzahl und zwar mit gleicher Hubhöhe des Klotzes auf den Aufsetzer geführt wurde und dieses sich mehrmals abwechselnd wiederholt, dass alsdann durch den Aufsetzer der Effect beinahe um ein Drittel geschwächt wurde. Bestand der Aufsetzer aber aus einem Korke, so betrug der Verlust sogar beinahe die Hälfte.

Wenn Pfähle schräge eingerammt werden sollen, so muss die Ramme so gestellt werden, dass die Läuferruthe wieder der Richtung des Pfahles parallel ist; mittelst der oben beschriebenen Stützenramme (Fig. 167) ist dieses sehr leicht auszuführen. Zuweilen hat man aber auch wohl die Methode, dass man den Rammklotz auf den Kopf des schräge einzutreibenden Pfahles senkrecht herabfallen lässt und man eine Absteifung rückwärts anbringt, um ein Abbrechen oder Niederdrücken des Pfahles zu verhindern. Es ist freilich nicht in Abrede zu stellen, dass wenn man durch eine recht feste Absteifung denjenigen Theil des Stosses,

der senkrecht gegen die Axe des Pfahles gerichtet ist, aufhebt, dass alsdann auch der vertical niederfallende Klotz den Pfahl schräge eintreiben muss, aber jedenfalls ist der Verlust an Kraft dabei ausserordentlich gross und dieses zeigt sich schon in den sehr heftigen Erschütterungen der ganzen Rüstung, denn eben um diese Erschütterungen hervorzubringen, ist eine starke lebendige Kraft erforderlich, die aber dem eigentlichen Nutzeffecte entzogen wird. Vor einer Brücke ohnfern der Nordsee sah ich einst auf diese Art einen Pfahl sehr schräge einrammen, er war etwa 30 Grade gegen das Loth geneigt, und wenn er auch wirklich nach und nach etwas tiefer eingetrieben wurde, so geschah dieses doch so unmerklich, dass es eine überaus kostbare Arbeit zu werden schien, und dieses noch um so mehr, als die Absteifungen und die ganze Rüstung bei den Erschütterungen wiederholentlich sich lösten und einzelne Stücke brachen, was denn wieder lange Unterbrechungen in der Arbeit veranlasste.

Endlich ist hier noch zu erwähnen, dass man zuweilen auch von Fahrzeugen und namentlich von breiten und platten Prahmen aus die Rammarbeiten ausführt; dieses ist namentlich der Fall, wenn im Wasser eine Rüstung oder auch ein Fangedamm erbaut werden soll. Starke Grundpfähle wird man auf diese Art aber nicht leicht einrammen, weil die Arbeit zu unsicher ist und auch manche Schwierigkeiten dabei eintreten; das gewöhnliche Verfahren ist vielmehr dieses, dass die eigentliche Rammarbeit erst später auf jener Rüstung vorgenommen wird, die auf solche Art dargestellt wurde. Bei Aufstellung der Ramme auf einem Fahrzeuge kommt nun besonders der Umstand in Betracht, dass während der Zeit, wo die Arbeiter den Klotz heben, das Gewicht desselben auf der Ramme ruht, der Klotz hört aber sogleich auf die Ramme zu belasten, sobald er herabfällt und auf den Pfahl aufschlägt. Auf diese Art wird vor der Läuferruthe die Belastung des Fahrzeuges abwechselnd bald grösser und bald kleiner und dadurch entsteht ein Schwanken, was jedesmal sehr merklich ist und oft so stark wird, dass es die Fortsetzung der Arbeit verhindert und man jede Hitze auf wenige Schläge beschränken muss. Man kann diesen Uebelstand wesentlich vermindern, wenn man die Ramme so stellt, dass die vordere Schwelle senkrecht gegen die Längenaxe des Prahmes gerichtet ist; doch braucht man in

diesem Falle zwei Prahme und es trifft alsdann die Läuferruthe in den freien Zwischenraum zwischen beiden, wo also der einzurammende Pfahl sich befinden muss. Häufig erlaubt die Anordnung der Pfahlreihe es aber nicht, diese Einrichtung zu wählen, und es gewährt oft eine wesentliche Erleichterung, wenn die Ramme mit der vordern Schwelle auf die lange Seite des Prahmes gestellt wird, wodurch man immer gegen die schon eingeschlagenen Pfähle das Fahrzeug halten kann. Gerade in diesem Falle ist aber die Schwankung am stärksten, doch begegnet man derselben, wenn man einen Pfahl quer über den Prahm legt und unter das hintere Ende desselben einen Nachen bringt, der vielleicht noch beladen ist, um nicht so leicht gehoben zu werden; dieser Pfahl wird sowohl an beide Seitenwände des Prahmes, als an den Nachen befestigt, und er verhindert die Schwankungen um so vollständiger, in je weiterer Entfernung er den Nachen fasst. Ich habe dieses Mittel gewöhnlich benutzt und dadurch die Schwankungen jedesmal so vermindert, dass sie nicht mehr störend waren, es zeigte sich diese Anordnung auch noch sehr vortheilhaft, wenn ein geringer Wellenschlag statt fand, der ähnliche Schwankungen sonst erzeugt haben würde.

§. 37.

Die Kunstramme.

Wenn man eine Zugramme, wie sie vorstehend beschrieben worden, in Thätigkeit sieht, und man wahrnimmt, dass die vielen Menschen, die dabei angestellt sind, bei Weitem den grössten Theil der Zeit hindurch müssig stehen und sie dieser Ruhe auch wirklich bedürfen, indem die Anstrengung während der kurzen Dauer einer Hitze von 40 bis 60 Secunden so gross ist, dass eine Unterbrechung eintreten muss, so vermisst man darin gänzlich den geregelten und gemessenen Gang und die überlegte Verwendung der dazu bestimmten Betriebskräfte, wodurch die neueren Maschinen sich so vortheilhaft auszeichnen. Man bemerkt auch sogleich, dass die Arbeiter sehr unzweckmässig bei der Zugramme beschäftigt sind, denn diese starke Anstrengung, welche nach einer Minute und oft noch früher eine völlige Erschöpfung herbeiführt, kann unmöglich dem Maximum des Effectes für die ganze

Tagesthätigkeit entsprechen, und die im vorigen Paragraphen angegebenen Erfahrungen zeigen auch, dass dieses sich wirklich so verhält und dass dieselben Arbeiter schon dreimal soviel leisten könnten, wenn sie an Kurbeln angestellt wären. Demnächst ist aber die Vereinigung so vieler Menschen zu gleichem Zwecke auch immer sehr unvortheilhaft und man hat vielfach Gelegenheit, auf den Baustellen zu bemerken, dass, jemehr Hände anfassen, um so weniger jede leistet; können z. B. zwei Mann ein gewisses Stück Holz noch bequem und schnell fortbringen, so wird ein Stück von vierfachem Gewichte durch acht Mann nicht mehr bewegt; ein solches Zusammenwirken von vielen Arbeitern, wie es sich bei der Zugramme darstellt, muss man sonach immer möglichst zu vermeiden suchen.

Hiernach liegt der Gedanke sehr nahe, durch irgend eine mechanische Vorrichtung den Rammklotz aufzuheben und dadurch die Anzahl der Arbeiter an der Ramme zu beschränken. Man hat auch bereits seit langer Zeit vielfache Vorschläge zu diesem Zwecke gemacht und es fehlt keineswegs an Erfahrungen, welche zeigen, dass man auf diesem Wege zu sehr günstigen Resultaten gelangen kann; in England sind solche Rammen jetzt sogar ganz gewöhnlich geworden. Nichts desto weniger hat die Zugramme ihre eifrigen Vertheidiger behalten und es fehlt auch nicht an Beispielen dafür, dass Versuche, die man mit Kunstrammen anstellte, missglückt sind. Wenn aber ein solcher Versuch ungünstig ausfällt, so folgt daraus noch keineswegs, dass die Sache unbedingt verwerflich ist, denn auch die unpassende Anordnung oder der Mangel an Sorgfalt kann leicht die Veranlassung des Missglückens gewesen sein. Was die Kunstrammen aber anbetrifft, so lassen sich die günstigen Resultate, die man durch sie wirklich erreicht hat, nicht mehr in Zweifel ziehen, und wenn sie daher bei andern Versuchen unzureichende Effecte zeigten, oder sie gar keinen regelmässigen Gang annahmen, so kann man nur voraussetzen, dass dieses die Folge einer mangelhaften Anordnung oder Ausführung war, oder von der Sorglosigkeit in der Aufstellung herrührte. Es giebt bei diesen Rammen ohne Zweifel eine viel grössere Anzahl einzelner Theile, die leicht in Unordnung gerathen können, als bei den gewöhnlichen Zugrammen; letztere lässt sich noch immer im Gange erhalten, wenn auch die Läuferruthe schon

stark bestossen ist und der Klotz von der einen Seite zur andern schwankt, oder wenn das Nagelloch in der Rammscheibe einen Spielraum von mehreren Zollen erhalten hat. Auch wenn die Scheibe vielleicht sich gar nicht mehr dreht, so kann eine stärkere Bemannung dennoch die Ramme noch immer in Bewegung setzen; die Arbeit wird alsdann freilich sehr kostbar, es tritt aber doch immer keine vollständige Unterbrechung ein. Wenn dagegen bei der Kunstramme sich der Haken etwas ausgeschliffen hat, oder der Klotz nicht ganz sicher und scharf durch die Läuferruthe geführt wird, so ist es keine Möglichkeit mehr, den Klotz zu heben und die Arbeit hört in diesem Falle gleich vollständig auf. Solche Zufälligkeiten lassen sich aber nur durch dauernde Aufmerksamkeit vermeiden und diese muss von dem Baumeister, der den Bau leitet, selbst ausgehen, da in unsern Gegenden die Maschinen dieser Art wenig üblich und daher den Handwerkern und Tagelöhnern noch ganz fremd sind. Wird diese Sorgfalt verabsäumt, so geräth die Ramme sogleich in Unordnung; wenn man aber in diesem Falle, sowie in vielen andern, mit grosser Selbstzufriedenheit die Ueberzeugung ausspricht, dass die Sache sich praktisch nicht bewährt habe, so darf einer solchen Aeusserung natürlich kein Gewicht beigelegt werden.

Es ist bisher nur davon die Rede gewesen, dass bei der Kunstramme die Arbeiter zweckmässiger als bei der Zugramme angestellt werden können, ein grosser Vorzug der ersteren beruht aber noch darin, dass der Klotz viel höher gehoben werden kann und dadurch der Effect der Ramme wesentlich verstärkt wird. Dieser Umstand bedarf einer näheren Auseinandersetzung, da die gewöhnlichen Hypothesen und Räsonnements ein ganz anderes Resultat geben. Wenn man annehmen dürfte, dass der Widerstand, den der Pfahl der Bewegung entgegensetzt, allein darin besteht, dass er der umgebenden Erdmasse seine ganze Geschwindigkeit oder einen gewissen aliquoten Theil derselben mittheilte, so würde sich die Hypothese rechtfertigen, dass die Fallhöhe des Klotzes der Tiefe proportional ist, zu welcher der Pfahl bei jedem Schlage eindringt, und alsdann würde beispielsweise der Effect sich gleichbleiben, wenn der Rammklotz einmal aus der Höhe von 20 Fuss, oder wenn er fünfmal aus der Höhe von 4 Fuss herabfällt. Bei gewissen Erdarten scheint dieses auch wirklich

der Fall zu sein, und namentlich haben die vielfachen Beobachtungen, die man über das Einschlagen von Kugeln in Erde und im Mauerwerke angestellt hat, sehr deutlich das Resultat ergeben, dass die Tiefe, zu welcher sie eindringen, dem Quadrate ihrer Geschwindigkeit wirklich proportional ist. Lambert ist in seinem interessanten Aufsatze über das Eindringen der Pfähle *) von diesem Grundsatze gleichfalls ausgegangen und fand denselben durch die Beobachtungen mit trockenem Sande auch bestätigt; späterhin ist man dieser Annahme immer wieder gefolgt, ohne ihre Richtigkeit weiter zu prüfen.

Ich liess das Modell einer Ramme auf einen Pfahl wirken, der in reinem ganz trockenem Sande steckte, und es ergab sich, dass derselbe nicht nur bei kleinen Fallhöhen des Klotzes verhältnissmässig eben so tief wie bei grösseren eindrang, sondern im Gegentheile waren die Schläge bei geringer Erhebung des Klotzes relativ sogar noch wirksamer, als die bei einer höheren. Der Grund von dieser Erscheinung, welche sich sehr deutlich herausstellte, kann allein darin liegen, dass die stärkere Geschwindigkeit bei der grösseren Fallhöhe theils durch den Widerstand der Luft und theils durch die mancherlei andern Hindernisse, die hier gar nicht unbedeutend waren, weit mehr geschwächt wird, als die geringeren Geschwindigkeiten. Es zeigte sich bei diesem Versuche aber noch eine andere Eigenthümlichkeit, die ihn wesentlich von den Erfahrungen unterscheidet, die man sonst beim Einrammen der Pfähle gemacht hat; es blieb sich nämlich die Tiefe, zu der der Pfahl durch eine bestimmte Anzahl von Schlägen mit gleicher Fallhöhe eingetrieben wurde, sehr nahe gleich, und der Umstand, ob der Pfahl eben erst gesetzt oder er schon tief eingedrungen war, hatte einen ganz unmerklichen Einfluss. Dieselbe Kraft, welche den Pfahl, wenn er erst drei Zoll tief im Sande steckte, um einen Zoll tiefer herabtrieb, senkte ihn, sobald er 12 Zoll tiefer war, noch um etwa 11 Linien ein.

Wenn ich denselben Sand mit Wasser begossen hatte, so waren die Resultate wesentlich verschieden; die Tiefe, zu welcher

*) Beiträge zum Gebrauche der Mathematik. Berlin 1772. Bd. III. Seite 456.

der Pfahl eindrang, entsprach wirklich ziemlich genau der jedesmaligen Fallhöhe, da man aber wohl voraussetzen muss, dass dieselben Verminderungen der grösseren Geschwindigkeit des Rammklotzes auch hier eintraten, so geht daraus schon hervor, dass ohne diese Verluste die grössere Hubhöhe des Klotzes sich schon vortheilhaft gezeigt haben würde. Endlich wendete ich noch einen sehr zähen Thon an, der so stark mit Wasser durchnässt war, wie er in einiger Tiefe unter der Erdoberfläche gewöhnlich vorkommt. Hierbei zeigte sich nun sehr entschieden der Vortheil der grösseren Hubhöhe und ich will die beobachteten Resultate vollständig hier mittheilen. Die Höhen, zu welchen ich den Klotz erhob, betrugen 2 Zoll und 7 Zoll; ferner wendete ich zwei verschiedene Klötze an, um zugleich den Einfluss eines schwereren Rammklotzes untersuchen zu können. Der grössere Klotz wog 1,90 Loth und der kleinere 1,08 Loth; sie verhielten sich also sehr nahe wie 7 : 4 zu einander. Hiernach war in den folgenden vier Fällen die Betriebskraft oder die der Maschine mitgetheilte lebendige Kraft sich gleich, nämlich

a) wenn mit dem grösseren Klotze 8 Schläge von 7 Zoll Höhe
b) wenn mit demselben Klotze 28 Schläge von 2 Zoll Höhe
c) wenn mit dem kleineren Klotze 14 Schläge von 7 Zoll Höhe und
d) wenn mit demselben Klotze 49 Schläge von 2 Zoll Höhe

gemacht wurden. Es kam darauf an, zu prüfen, ob die Effecte oder die Tiefen, zu welchen der Pfahl dabei eindrang, auch gleich waren, und zu diesem Zwecke befestigte ich am obern Ende des Pfahles einen eingetheilten Maassstab, an dem ich nach scharfen Marken jedesmal die Höhe sehr sicher ablesen konnte. Hierbei zeigte es sich, dass der Pfahl Anfangs viel leichter eindrang, als späterhin; diese Differenz durfte nicht auf das Resultat ihren Einfluss behalten, ich entfernte sie dadurch, dass ich in der letzten Hälfte der Beobachtungen die Reihenfolge umkehrte und endlich aus den je vier entsprechenden Beobachtungen das arithmetische Mittel nahm; ich bezeichne dabei, wie vorstehend angedeutet ist, durch *a* die 8 Schläge von 7 Zoll Höhe mit dem grösseren Klotze u. s. w.

Bezeichnung der Beobachtungsart	Abgelesene Höhe	Senkung des Pfahles
1) *a*	0,24 Zoll	0,24 Zoll
2) *b*	0,40 -	0,16 -
3) *c*	0,53 -	0,13 -
4) *d*	0,62 -	0,09 -
5) *a*	0,80 -	0,18 -
6) *b*	0,92 -	0,12 -
7) *c*	1,05 -	0,13 -
8) *d*	1,12 -	0,07 -
9) *d*	1,17 -	0,05 -
10) *c*	1,26 -	0,09 -
11) *b*	1,33 -	0,07 -
12) *a*	1,45 -	0,12 -
13) *d*	1,50 -	0,05 -
14) *c*	1,58 -	0,08 -
15) *b*	1,65 -	0,07 -
16) *a*	1,75 -	0,10 -

Es folgt hieraus sehr deutlich, dass die Beobachtungen Litt. *a* den grössten Effect geben und die Beobachtungen Litt. *d* den geringsten; die mittleren Werthe sind

für *a* 0,160
- *b* 0,105
- *c* 0,108
- *d* 0,065

Eine **gleiche Betriebskraft** gab also bei dem grösseren Klotze und bei der grösseren Hubhöhe einen $2\frac{1}{2}$ mal so grossen Effect, als wenn der kleinere Klotz zu der kleineren Höhe erhoben würde; die kleine Differenz zwischen den Mittelwerthen für *b* und *c* scheint aber noch anzudeuten, dass eine Vergrösserung der Hubhöhe vortheilhafter ist, als eine Vermehrung des Gewichtes des Klotzes.

Das erhaltene Resultat schliesst sich sehr genau an manche Erfahrungen an, die man oft genug zu machen Gelegenheit hat; wenn man z. B. in einem beschränkten Raume, wo man mit dem Hammer nicht gehörig hinzukommen kann, einen Nagel einschlagen will und man den Hammer nur wenig zu schwingen im Stande ist, so wird man lange Zeit hindurch klopfen, ohne ein solches

Eindringen des Nagels zu bewirken, wie sich dieses durch einen einzigen gehörig ausgeholten und kräftigen Schlag desselben Hammers sogleich darstellt. Den Grund davon kann man zum Theil in der starken Reibung suchen, welche sich unmittelbar nach der Ruhe zu erkennen giebt. Der Nagel setzt nämlich dem weiteren Eindringen einen gewissen Widerstand entgegen, aber bevor er überhaupt in Bewegung kommt, muss jene Reibung schon überwunden werden und der Impuls, den er erhält und wodurch er weiter eingetrieben wird, bestimmt sich durch die Differenz zwischen der lebendigen Kraft des Schlages und derjenigen lebendigen Kraft, welche zur Ueberwindung der Reibung nach der Ruhe erforderlich ist. Nun kann es sich treffen, dass die letzte beinahe eben so gross ist, als die erste, und alsdann ist jene Differenz sehr unbedeutend; sie kann sich auch sogar auf Null reduciren, oder die Wirkung hört ganz auf und alle Schläge werden vergeblich geführt. So bemerkt man beim Rammen, dass ein Pfahl, der schon ziemlich fest steht, durch die wiederholten Hitzen von niedrigen Schlägen gar nicht mehr afficirt wird, während einige stärkere Schläge ihn gleich merklich herabtreiben. Diese Erklärung scheint in manchen Fällen ganz angemessen zu sein, aber aus den angeführten Versuchen ergiebt es sich noch, dass die Zähigkeit der Erdart hier vorzugsweise den Unterschied macht; jene Versuche ergeben, dass beim festen Boden das Eindringen des Pfahles nach Maassgabe der jedesmaligen Fallhöhe des Klotzes um so vollständiger erfolgt und sonach wird der Vortheil der grösseren Hubhöhe hier nur unbedeutend oder vielleicht gar nicht vorhanden sein; sobald aber der Boden recht weich und zähe ist, so dass dem plötzlichen tieferen Eindringen bedeutende Widerstände entgegentreten, so geben wahrscheinlich die nächsten Erdschichten etwas nach, und sie folgen dem Klotze, wenn er einen schwachen Schlag erhält, ohne sich von ihm zu lösen, sie heben ihn aber sogleich wieder an seine frühere Stelle, so dass er wirklich nicht tiefer herabgesunken ist; ein stärkerer Schlag dagegen löst die Verbindung und treibt ihn herab. Es steht diese Erklärung in naher Beziehung zu einer andern Erscheinung, die man beim Einrammen von Pfählen in recht zähem und nassem Thone mehrmals beobachtet hat, dass nämlich bei jedem Schlage der Pfahl zugleich mit seiner nächsten Umgebung sich merklich

senkt, er aber unmittelbar darauf auch wieder gehoben wird, so dass der Pfahl gar nicht einzurammen ist.

Es entsteht die Frage, ob der erwähnte Vortheil der grösseren Hubhöhe sich bei den Kunstrammen wirklich herausgestellt hat, oder ob man ihn nur bei Versuchen im Kleinen bemerken konnte. Entscheidende Beobachtungen hierüber sollen später angeführt werden, doch lässt der Vortheil, den die Kunstrammen in Bezug auf die Verminderung der Kosten ergeben haben, schon ein solches Verhältniss erwarten. Beim Bau der Brücke zu Neuilly machte Perronet die Erfahrung, dass unter gleichen Umständen das Arbeitslohn für das Einschlagen des Pfahles mit der Zugramme 13 Livres 15 Sous und mit der Kunstramme 5 Livres 1 Sous 7 Deniers kostete *); doch ist diese Vergleichung nicht ganz entscheidend, indem die Kunstramme nicht durch Menschen, sondern durch Pferde in Bewegung gesetzt wurde; dagegen theilt de Cessart das noch viel günstigere Resultat mit, dass beim Bau der Brücke zu Saumur das Einrammen des Pfahles auf 26 Fuss Tiefe durchschnittlich mit der Zugramme 38 Francs 15½ Sous und mit der Kunstramme, die gleichfalls durch Menschen bewegt wurde, nur 12 Francs 13 Sous, also noch nicht voll den dritten Theil kostete. **) Als ich bei den Bohlwerksbauten in Pillau eine Kunstramme eingerichtet hatte und dieselbe aufgestellt wurde, liess ich die gewöhnliche Zugramme, deren Klotz 10 Centner wog und die mit 36 Mann besetzt war, lange Zeit hindurch auf denjenigen Bohlwerkspfahl herabschlagen, woran mit der Kunstramme der erste Versuch gemacht werden sollte. Der Pfahl steckte in dem festen Sandboden so tief, dass er in der einzelnen Hitze zuletzt gar nicht mehr merklich zog und die 36 Mann in der Arbeitszeit von zwei Stunden ihn keinen Zoll tiefer herabbringen konnten. Nunmehr liess ich die Kunstramme darüber fahren und der einzelne Schlag des 10½ Centner schweren Klotzes trieb bei der Fallhöhe von 20 Fuss gleich um ½ Zoll den Pfahl herab; es hatten also in diesem Falle die vier Mann in Zeit von zwei Minuten an der Kunstramme mehr gewirkt, als 36 Mann an der Zugramme in einer Stunde leisten konnten. Dieses Resultat war so überraschend

*) *Description des ponts etc. p.* 75.
**) *Description des travaux hydraulique. I. p.* 185.

und augenfällig, dass die Arbeiter zu murren anfingen und ihre Besorgniss, dass sie nunmehr die dauernde Beschäftigung an der Ramme verlieren würden, laut aussprachen. Später habe ich durch directe Beobachtung den Effect des Schlages, wenn er durch verschiedene Fallhöhen hervorgebracht wird, zu ermitteln versucht; ich liess nämlich, nachdem ein Pfahl schon einigermaassen fest war, den Rammklotz zu verschiedener Höhe aufziehen und beobachtete das Eindringen des Pfahles. Dieses betrug der Reihenfolge nach

1)	bei 10	Schlägen von	3	Fuss Höhe	. . .	1,7	Zoll
2)	- 6	-	- 6	-	. . .	3,9	-
3)	- 4	-	- 9	-	. . .	5,9	-
4)	- 3	-	- 12	-	. . .	7,9	-
5)	- 10	-	- 3	-	. . .	1,7	-
6)	- 6	-	- 6	-	. . .	3,9	-
7)	- 4	-	- 9	-	. . .	6,0	-
8)	- 3	-	- 12	-	. . .	8,0	-

Es ergiebt sich aus der Uebereinstimmung der vier ersten Beobachtungen mit den vier letzten, dass der Widerstand während des Versuches ziemlich unverändert blieb, und wenn man hiernach die mittleren Werthe für die Effecte der einzelnen Schläge darstellt, so findet man, dass diese sehr nahe dem Quadrate aus der Fallhöhe proportional sind, und es lassen sich die beobachteten Grössen ziemlich genau durch die Formel

$$s = 0{,}018 \, . \, h^2$$

darstellen, wo s die Tiefe bezeichnet, zu welcher der Pfahl eindringt und h die Fallhöhe des Klotzes. Man findet hieraus

für $h = 3$	$s = 0{,}162$	also für	10	Schläge	1,62 Zoll
- $h = 6$	$s = 0{,}648$	- -	6	-	3,89 -
- $h = 9$	$s = 1{,}458$	- -	4	-	5,83 -
- $h = 12$	$s = 2{,}092$	- -	3	-	7,78 -

was mit den Beobachtungen hinreichend genau übereinstimmt.

In Frankreich stellte Vauvilliers *) einen directen Vergleich zwischen der Leistung der Zugramme und der Kunstramme an; beide hatten gleich schwere Klötze, nämlich von 641 Pfund, und

*) *Traité élémentaire de mécanique industrielle par Flachat.* Paris 1835. *p.* 43.

mit beiden wurden ganz gleiche Pfähle in demselben Boden und gleich tief eingeschlagen. An der Zugramme arbeiteten 22 Tagelöhner und 1 Zimmermann, an der Kunstramme dagegen 4 Tagelöhner und 1 Zimmermann; bei letzterer wurde der Klotz mittelst der Kurbel und Rad und Getriebe jedesmal $12\frac{1}{4}$ Fuss hoch gehoben. Die erste Ramme schlug 48 Pfähle in 28 Tagen ein, die letzte eben so viele in 18 Tagen. Die Kunstramme arbeitete also noch schneller, als die Zugramme, und bei ihr betrugen die Kosten an Tagelohn und Unterhaltung des Geräthes für jeden Pfahl 3,4 Fr., während bei der Zugramme diese Kosten auf 15,3 Fr. stiegen.

Aus dem Angeführten ergiebt es sich, dass die Kunstramme vergleichungsweise mit der Zugramme in doppelter Beziehung die Leistung der dabei angestellten Arbeiter vermehrt, nämlich einmal gestattet sie eine angemessene Kraftäusserung, wodurch die ganze Tagesthätigkeit des einzelnen Arbeiters sich vergrössert, und sodann bewirkt der höhere Hub des Rammklotzes verhältnissmässig ein viel schnelleres Eindringen des Pfahles, woher das Verhältniss des Effectes zur Betriebskraft sich gleichfalls viel günstiger herausstellt. Es ist sonach in ökonomischer Beziehung sehr vortheilhaft, sich der Kunstramme zu bedienen, und wenn die Pfähle sehr fest eingeschlagen werden sollen, so kann man bei ihrer Anwendung sicher darauf rechnen, die Hälfte bis zwei Drittheile des Arbeitslohnes zu ersparen; es giebt aber, wie bereits erwähnt worden, Beispiele, dass die Ersparung sogar mehr als zwei Drittel betrug. Dagegen gewährt die gewöhnliche Zugramme den Vortheil, dass man weit mehr Arbeiter dabei anstellen kann, und wenn man sonach auf eine gewisse Anzahl von Rammen beschränkt ist und die möglichste Beschleunigung in diesem Theile der Arbeit erforderlich ist, so kann es allerdings zuweilen zweckmässig sein, die Kunstrammen zu vermeiden. Nichts desto weniger dürften solche Verhältnisse sich nicht leicht wiederholen und wenigstens bei grösseren Bauten wohl nie vorkommen; es ist nämlich die Einrichtung von Kunstrammen keineswegs besonders kostbar, und wenn sie bei einer schwachen Bemannung auch langsamer als die Zugrammen arbeiten, so ist der Unterschied, wie die Erfahrung lehrt, nicht so bedeutend, wie man gewöhnlich voraussetzt, und er verschwindet zuweilen ganz. Man kann aber noch dadurch

37*

eine grosse Beschleunigung hervorbringen, dass man die Kunstramme nicht früher anwendet, als bis der Pfahl schon ziemlich fest steht. Man muss also in derselben Art, wie oben angedeutet worden, mit einer Zugramme, die mit einem leichten Klotze versehen ist, die Pfähle setzen, und wenn diese keine gehörige Wirkung mehr zeigt, alsdann erst die Kunstramme darüber schieben. Die Besorgniss, welche man häufig ausspricht, dass die schwache Bemannung der Kunstramme nicht im Stande sein dürfte, die Pfähle zu setzen, beseitigt sich sonach von selbst und das Verfahren der Ramme verursacht auch keine Schwierigkeiten, wenn man nicht gar zu schwerfällige Rammen benutzt. Bei den Rammarbeiten, die ich in Pillau leitete, wurde die 40 Fuss hohe Kunstramme, welche wie eine Stützenramme eingerichtet war, durch die sechs Arbeiter, die dabei angestellt waren, immer schnell und bequem verfahren.

Was nun die Anordnung der Kunstrammen betrifft, so unterscheiden sie sich von den Zugrammen nur dadurch, dass mittelst einer mechanischen Vorrichtung der Klotz gehoben wird, und wenn er in einer gewissen Höhe frei geworden und von da herabgestürzt ist, so muss der Haken, woran er früher hing, ihm folgen und ihn aufs Neue fassen, um ihn zum zweiten Male zu heben. Gemeinhin geht die Bewegung von Menschen aus, die an einer Kurbel drehen, zuweilen ist aber auch eine Erdwinde benutzt worden und es ist natürlich, dass man im letzten Falle, oder überhaupt da, wo der Mensch eine grössere Kraft zu entwickeln im Stande ist, auch einen noch günstigeren Erfolg herbeiführen wird. Beim Aquäduct über den Potomac waren zwei Kunstrammen im Gange, an beiden wog der Klotz 1300 Pfund und beide konnten den Klotz 40 Fuss herabfallen lassen. Die eine, die mittelst einer Kurbel durch 8 Mann bewegt wurde, machte alle $7\frac{1}{2}$ Minute einen Schlag (was freilich unglaublich wenig ist) und die andere, die durch 6 Mann in Bewegung gesetzt wurde, welche auf einem Tretrade gingen, schlug alle $1\frac{1}{4}$ Minute einmal, wesshalb man der ersten Ramme auch ein Tretrad gab. *) In Frankreich hat man mehrfach auch andere Betriebskräfte und namentlich die Pferdekraft zu diesem Zwecke angewendet. So

*) *Civil Engineer and Architect's Journal. I. p.* 150.

liess Perronet schon die Winde, die den Klotz hob, durch ein Pferd in der Art in Bewegung setzen, dass dieses ein Tau von einer Trommel abwickelte und dadurch die letztere drehte. Bei den Bauten im Kriegshafen zu Lorient wurden zwei Kunstrammen durch denselben Pferdegöpel in Bewegung gesetzt und beim Bau der Brücke zu St. Maxence liess Perronet die Ramme durch das Wasserrad treiben. Der gewöhnlichste Fall ist indessen immer der, dass die Bewegung durch Menschen erfolgt und hiervon mag hier allein die Rede sein; ich werde zunächst diejenige Ramme beschreiben, die ich in Pillau nach dem Muster der in Hull benutzten Ramme erbaute und drei Jahre hindurch mit sehr günstigem Erfolge angewendet habe. Sie hat vor den übrigen, von denen weiterhin die Rede sein wird, den Vorzug, dass sie mit sehr geringen Kosten (etwa 30 Thaler) aus einer gewöhnlichen Zugramme dargestellt war.

Der wichtigste Theil des Apparates ist der Haken, welcher den Klotz hebt und in einer gewissen Höhe ihn wieder fallen lässt. Derselbe ist Fig. 190 *a*, *b* und *c* dargestellt; *a* zeigt ihn von der Seite, dicht über dem Klotze schwebend, in dessen Bügel er bei fernerer Senkung gleich von selbst eingreift, *b* ist die Ansicht von vorn und *c* die von oben; in der letzten Figur sind zugleich die Läuferruthen angedeutet. Der Haken muss so ausgeschnitten sein, dass er an der untern Seite eine schräge Fläche bildet, welche beim Aufstossen auf die Oese des Rammklotzes sich zurücklegt und dadurch ein Eingreifen in dieselbe möglich macht. Oben ist dagegen der Haken concav ausgeschnitten, doch muss diese Krümmung einem Kreisbogen entsprechen, dessen Mittelpunkt mit dem Drehungspunkte des Hakens zusammenfällt, denn nur in diesem Falle fasst er sicher die Oese und lässt sie leicht fallen, sobald er zurückgezogen wird. An dem Haken sind zugleich zwei Arme angeschmiedet, von denen der kürzere das Gegengewicht trägt, welches den Haken immer einstellt, und der längere dient dazu, ihn zu lösen, sobald er den Klotz hoch genug gehoben hat. Der letzte greift zugleich durch einen Schlitz in dem untern Arme des Fallblockes hindurch und sichert dadurch nicht nur dem Haken die feste Stellung, sondern er verhindert es auch, dass nicht etwa das Gegengewicht diesen zu weit umdreht. Eine Schiene, die sich wieder genau in der Linie befindet, welche

vom Schwerpunkte des Klotzes parallel zur Läuferruthe gezogen ist und welche daher mit der Richtung des Rammtaues zusammenfällt, trägt den Haken mittelst eines Schraubenbolzens; oben ist sie mit einer Kausche versehen, woran das Rammtau angesteckt ist. Der hölzerne Klotz am Haken oder der Fallblock (*the follower*) greift zwischen die beiden Läuferruthen hindurch und wird rückwärts durch ein Brettstück, welches die Stelle der Riegel an den Armen des gewöhnlichen Rammklotzes versieht, darin gehalten. Diese Befestigung muss, wie die Figur zeigt, möglichst hoch angebracht werden, indem sie alsdann beim Herabfallen des Blockes einer schrägen Stellung desselben und sonach dem Entstehen einer starken Reibung am sichersten vorbeugt, dagegen wird der Fallblock beim Aufsteigen durch das überwiegende Gewicht des Rammklotzes in der gehörigen Richtung erhalten und es kann sonach ein Klemmen hierbei gar nicht eintreten. Der abwärts gerichtete Arm des Fallblockes, der unten mit einem eisernen Ringe beschlagen ist, muss die Länge haben, dass, wenn er auf dem Klotze aufsteht, alsdann der Haken ganz frei schwebt, ohne weder die Oese noch die Oberfläche des Klotzes zu berühren. Sobald der Fallblock herabgelassen wird, so greift der Haken von selbst in die Oese des Rammklotzes ein, und wenn er nunmehr aufgewunden wird, so hebt er den letzteren mit sich auf, bis der längere Arm am Haken herabgedrückt wird, worauf der Rammklotz sogleich frei wird und herabstürzt. Das Herabdrücken dieses Armes geschah Anfangs übereinstimmend mit der in Hull vorkommenden Einrichtung durch eine Leine, welche an der Schwelle der Ramme befestigt wurde. In einer gewissen Höhe zog sich diese Leine von selbst steif und sie drehte alsdann den Haken und löste den Klotz. Es trat jedoch hierbei der Uebelstand ein, dass die Leine sehr leicht in Unordnung kam, sie legte sich oft zwischen die Arme des Klotzes und die Läuferruthe, oder sie klemmte und verwickelte sich bald an andern Theilen des Apparates, so dass sie häufig riss und noch öfter den Klotz löste, bevor er hoch genug gehoben war. Ich brachte daher die Aenderung an, dass ich den erwähnten Arm am Haken eben so weit, als die Arme des Rammklotzes verlängern liess und etwas unter derjenigen Höhe, welche der Fallblock überhaupt erreichen durfte, einen Bügel anbrachte, an diesen stiess der Arm und wurde dadurch

herabgedrückt. Auf solche Art konnte die Leine nicht nur entbehrt werden, sondern ich erreichte auch noch den Vortheil, dass das Auslösen des Klotzes immer möglichst spät erfolgte und letzterer dadurch jedesmal von der grössten Höhe herabstürzte, die er nach Maassgabe des Rammgerüstes überhaupt erreichen konnte.

Die Vorrichtung zum Aufwinden und Herablassen des Fallblockes zeigt Fig. 191 *a* und *b* in der Ansicht von der Seite und von oben. Die Zusammensetzung dieses Theiles des Apparates bestimmte sich hauptsächlich durch das Rad und Getriebe, welches gerade zu beschaffen war, denn es gab damals noch keine Eisengiesserei in Ostpreussen. An einem starken Rahmen aus eichenen Bohlen, der durch zwei Riegel und zwei Schraubenbolzen verbunden war, wurde die Windevorrichtung befestigt, woran das Rammtau herabgezogen werden sollte. Bei dem starken Zuge, den das letztere aufwärts ausübt, kam es darauf an, nicht nur die Pfannen der Winde vor einem Ausheben gehörig zu sichern, sondern auch den Rahmen selbst zurückzuhalten. Letzteres geschah in der Art, dass ein Stück Halbholz unter die Schwelle der Ramme neben den Läuferruthen untergeschoben wurde; auf dieses stellt man sodann den Rahmen und schlug eine Kette um dessen beide Riegel; die dazwischen getriebenen Keile gaben der Kette die nöthige Spannung und endlich wurde noch das hintere Ende des Halbholzes durch Klötze oder Steine beschwert. Die Pfannendeckel für die Axe der Winde sind, wie die Figur zeigt, durch zwei Schraubenbolzen an jeder Seite gehalten, welche durch den Rahmen hindurchgehen, die Axe des Getriebes wird aber bei der Richtung, worin das Tau hier aufgeschlungen ist, abwärts gedrückt und sonach kommt ein Heben derselben nicht vor.

Indem das Getriebe nicht immer in das Rad einfasst, sondern es gelöst werden muss, sobald der Klotz herabgestürzt ist und der Fallblock demselben folgen soll, so ruht diese Axe auf einer Seite in einer Gabel und auf der andern in einem Loche in einem Hebel. Letzterer kann auf einer Latte, die an den Rahmen genagelt ist, hin- und hergeschoben werden, und jenachdem er in der einen oder andern Kerbe ruht, so ist das Getriebe im Eingriffe oder frei. Das Getriebe hat 10 und das Rad 46 Zähne; an den beiden Kurbeln, deren Länge 15 Zoll betrug, konnte ich nicht mehr als vier Mann anstellen und sonach durfte die Walze, um

welche das Rammtau sich aufwindet, auch nur 8 Zoll im Durchmesser halten, denn sonst wäre die Last für die Arbeiter gar zu gross geworden. Hieraus ergab sich der Uebelstand, dass die Steifigkeit des Taues schon ein merkliches Hinderniss der Bewegung entgegensetzte, und was noch übler war, das Tau litt sehr stark und brach schon nach kurzem Gebrauche; ich sah mich daher wieder gezwungen, von dem besten Hanf, der nur zu bekommen war, zu diesem Zwecke ein Tau von 1 Zoll Durchmesser spinnen zu lassen und dieses zeigte sich so dauerhaft, dass es immer mehrere Monate hindurch benutzt werden konnte.

Sobald der Rammklotz herabgefallen war, so durfte man nicht ohne Weiteres das Getriebe auslösen, denn in diesem Falle stürzte der Fallblock mit grosser Heftigkeit nach und ertheilte der Winde eine so starke Drehung, dass das Ende vom Tau sich verkehrt wieder aufwand, und hierdurch entstand nicht nur jedesmal ein bedeutender Zeitverlust, sondern ausserdem litt auch das Tau, besonders da, wo es mit der Kramme an die Walze befestigt war. Es musste sonach diesem Uebelstande durch eine vollständige Bremsvorrichtung vorgebeugt werden, welche die beiden Figuren zeigen. Sobald einer von den vier Arbeitern an der Kurbel das Getriebe auslöste, so drückte der andere die Bremse auf die Winde auf, so dass diese sich nur mit mässiger Geschwindigkeit und nur so weit bewegte, bis der Fallblock auf dem Klotze aufstand.

Was übrigens den Betrieb der Ramme anbetrifft, so hatte ich, um alle Pausen zu vermeiden, sechs Mann dabei angestellt, von denen je zwei immer ausruhten; es war aber die Bedingung gemacht, dass die Arbeit nie unterbrochen werden durfte und dieses liess sich leicht controliren, da die starken Schläge der Kunstramme durch das ganze Städtchen zu hören waren. In einer Minute erfolgten 38 Umdrehungen der Kurbel, oder der Klotz wurde um 19½ Fuss gehoben; von dem Augenblicke ab, wo sich der Klotz löste, bis zum Wiederbeginne des Drehens der Kurbel vergingen aber 50 bis 60 Secunden, sonach wurden durchschnittlich in der Stunde 25 Schläge gemacht. An einem Tage konnten 2½ Pfähle nachgeschlagen werden, während die mit 36 Mann besetzte Zugramme durchschnittlich 4 solcher Pfähle nachschlug. Das Arbeitslohn für das Nachschlagen der Pfähle betrug bei der

Zugramme für jeden Pfahl 3 Thlr. 4 Sgr. und bei der Kunstramme sehr genau 1 Thlr.; die Ersparung würde also für den Pfahl 2 Thlr. 4 Sgr. betragen haben, sie stellte sich aber wirklich noch höher heraus, indem die Pfähle durch die Kunstramme viel fester und tiefer eingerammt wurden, als dieses mit der Zugramme möglich war. Endlich muss auch noch bemerkt werden, dass besondere Reparaturen bei diesem Apparate nicht häufig vorkamen und die Unterhaltungskosten für Tauwerk, Schmiedearbeit u. dgl. sogar merklich geringer ausfielen, als bei der Zugramme. Die eingerammten Pfähle litten aber auch nicht, wenn sie vorher nur recht gerade abgeschnitten und die Kanten am Kopfe gebrochen waren.

Es zeigte sich beim Beginne der Rammarbeiten noch der Uebelstand, dass die beiden Läuferruthen, die nur aus Bohlen bestanden, nicht gehörig steif waren und sonach der Rammklotz und der Fallblock durch sie nicht sicher in der gehörigen Lage gehalten wurden; so kam es denn häufig, dass bei einigem Spielraum in dem Schlitze der Ruthe der Klotz sich etwas nach der einen Seite drehte und der Block nach der andern, wodurch das Eingreifen des Hakens verhindert wurde. Diesen Uebelstand, der passender wohl durch neue stärkere Läuferruthen zu beseitigen gewesen wäre, entfernte ich durch einen Bügel, der beide Ruthen in der Mitte in der gehörigen Entfernung von einander hielt; er war aus $1\frac{1}{2}$zölligem Rundeisen geschmiedet und stand so weit von den Ruthen ab, dass die Arme des Rammklotzes nebst den Riegeln frei hindurchgehen konnten. Fig. 192 zeigt ihn, und es muss noch bemerkt werden, dass er in der Art eingesetzt wurde, dass man zunächst die beiden Ruthen etwas auseinander bog und die vier Bolzen einsetzte; indem diese sich mit den Köpfen berührten, konnte der Bügel eingezogen werden und alsdann schob man die Bolzen mit dem Gewinde durch. Auf diese Art erhielten die schwachen Ruthen eine hinreichende Steifigkeit und der Klotz, sowie der Block spielten sehr regelmässig, so dass das Eingreifen des Hakens nie versagte, ausser wenn vielleicht nach Monaten der Haken sich etwas ausgeschliffen hatte und er alsdann beim ersten Anziehen gleich von selbst sich aus der Oese des Klotzes auslöste; es musste ihm in diesem Falle wieder die frühere Krümmung durch Abfeilen gegeben werden.

Die Ramme, die man beim Bau der Docke in Hull benutzt hatte, war mit einem Haken versehen, der mit dem beschriebenen sehr genau übereinstimmt; er ist Fig. 193 in der Ansicht von vorn und von der Seite dargestellt. Der Fallblock besteht gleichfalls aus Holz und zwar aus zwei Klötzen, welche durch zwei Bolzen mit einander verbunden sind. Bei dieser Ramme verdient die Befestigungsart des Klotzes gegen die Läuferruthe einer besonderen Erwähnung; der Klotz, der in beiden Ansichten unter dem Fallblocke gezeichnet ist, besteht aus Gusseisen und statt der Arme sind zwei Bolzen hindurchgezogen, die am hintern Theile abgedreht sind und die zugleich die Axen für hölzerne Walzen bilden; diese Walzen bewegen sich in dem Schlitze zwischen den Läuferruthen und es ist klar, dass die Reibung bei ihnen geringer ausfallen muss, als bei den gewöhnlichen Armen, wogegen aber auch ein Verbiegen der Bolzen wohl leicht eintreten kann. Endlich sind hinter den Walzen noch Scheiben von Eisenblech von 11 Zoll Durchmesser und ½ Zoll Stärke aufgezogen und festgeschroben, welche theils das Abfallen der Walzen und theils das Abspringen des Klotzes von der Läuferruthe verhindern. Die letztern sind sowohl hinten als vorn mit eisernen Schienen beschlagen und eine Walze nebst Scheibe, die der beschriebenen ganz gleich ist, befindet sich auch am Fallblocke, um dessen Bewegung längs der Läuferruthe gleichfalls zu erleichtern und zu sichern. Der Rammklotz wog 1200 Pfund und er wurde mittelst einer eisernen Winde durch 4 Mann 20 bis 30 Fuss hoch gehoben. Um das Spalten und Zerschlagen der Pfähle zu verhindern, wurde der Kopf eines jeden Pfahles etwas conisch zugeschnitten und ein starker eiserner Ring von 4 Zoll Höhe und 1 Zoll Stärke aufgetrieben. Nach den ersten Schlägen des Klotzes war das Holz, soweit es vor diesem Ringe vorstand, zerschlagen, aber weiter konnte der Pfahl auch nicht beschädigt werden, und sobald er bis zur gehörigen Tiefe eingerammt war, so schnitt man das obere Ende ab, worauf der Ring wieder für die folgenden Pfähle benutzt wurde.

In der letzten Zeit pflegt man in England statt eines Hakens am Fallblocke deren zwei anzubringen, so dass eine vollständige Zange entsteht. Fig. 194 zeigt diese Einrichtung; der Fallblock besteht alsdann aus Gusseisen und die beiden Arme der Zange, die sich nicht kreuzen, sind oben mit schweren Rollen

versehen, so dass sie sich von selbst immer schliessen; sonst hatte man zum letzten Zwecke auch wohl Federn angewendet, die man jedoch jetzt fortlässt. Das Rammtau ist an einem Bügel befestigt, der um den Block greift und durch denselben Bolzen gehalten wird, welcher die beiden Arme der Scheere mit einander verbindet. Fig. 195 zeigt die ganze Aufstellung dieser Ramme; es ist dabei nur zu bemerken, dass an der innern Seite beider Läuferruthen eiserne Schienen befestigt sind, in welche sowohl der Rammklotz, als auch der Fallblock mittelst Nuthen eingreifen. Diese Schienen treten aber am obern Ende näher zusammen, und sobald daher jene Rollen am Fallblocke hierher kommen, so werden sie zusammengedrückt, die Zange öffnet sich und der Klotz stürzt herab. Die eiserne Winde ist mit einem Schwungrade versehen, welches wegen des ungleichen Zuges an der Kurbel immer sehr vortheilhaft ist, ausserdem kann das Getriebe auch hier aus- und eingerückt werden und endlich ist an der Welle, um welche sich das Tau aufrollt, noch ein Sperrrad nebst Haken angebracht, damit der Klotz in jeder beliebigen Höhe gehalten werden kann.

§. 38.

Rostpfähle.

Nach der gewöhnlichen Eintheilung zerfallen die Pfähle in zwei Klassen, nämlich in die der Spitzpfähle und der Spundpfähle; Spitzpfähle nennt man diejenigen, die an ihrem untern Ende mit einer Spitze versehen sind, oder die eine Zuschärfung in beiden Richtungen haben; die Spundpfähle sind dagegen gewöhnlich nur in einer Richtung zugeschärft, und wenn die Zuschärfung in der zweiten Richtung auch nicht ganz fehlt, so ist sie doch geringer als in der ersten und es bildet sich sonach nicht eine Spitze, sondern eine Schneide. Nächstdem ist das charakteristische Merkmal der Spundpfähle auch die Spundung, womit sie in einander greifen und dadurch eine dichte Wand darstellen. Nun giebt es aber auch Pfähle, denen die Spundung fehlt, obgleich sie unten mit einer Schneide versehen sind und sie gleichfalls zur Darstellung geschlossener Wände dienen, diese haben keinen besonderen Namen und ebenso können auch noch andere Modificationen eintreten, wobei man wegen des Namens nicht ganz sicher ist.

Unter den Spitzpfählen unterscheidet man wieder die Grundpfähle und Langpfähle: **Grundpfähle** heissen sie, wenn sie ganz im Grunde stecken, **Langpfähle** dagegen, wenn sie mit einem Theile ihrer Länge über dem Boden vorragen, und dieser freistehende Theil befindet sich entweder über oder unter Wasser. Nachdem, was bei Gelegenheit des Pfahlrostes erwähnt worden, können sowohl die Grundpfähle, als auch die Langpfähle den Rost tragen oder Rostpfähle sein, aber auch Bohlwerkspfähle, Schiffshalter und dergleichen gehören zur Klasse der Langpfähle. Indem hier von den Spitzpfählen im Allgemeinen die Rede ist und die beim Zurichten und Einrammen derselben zu treffenden Anordnungen beschrieben werden sollen, so bezieht sich dieses grossentheils auch auf solche Pfähle, die keine Rostpfähle sind, und es wird daher ein späteres Zurückkommen auf diesen Gegenstand nicht mehr erforderlich sein.

Das **Material**, woraus die Pfähle bestehen, ist fast immer Holz und zwar können nach Umständen sehr verschiedene Holzarten dazu benutzt werden; eine Hauptbedingung ist es, dass der Stamm, den man einrammen will, recht gerade ist, und in dieser Beziehung empfehlen sich vorzugsweise die Nadelhölzer, die man auch am häufigsten dazu zu wählen pflegt. Das Kiefernholz hat aber noch den grossen Vorzug, dass es wegen der vielen harzigen Theile, die es enthält, einer abwechselnden Nässe und Trockenheit und besonders einem dauernden Angriffe des Wassers lange Zeit hindurch widersteht. In dieser Beziehung hat es selbst vor dem Eichenholze Vorzüge, wie ich dieses namentlich beim Ausziehen der alten Bohlwerkspfähle um den Pillauer Hafen sehr deutlich bemerkte; denn das Kiefernholz hatte, soweit es immer unter Wasser geblieben war, sich recht gut erhalten, was beim Eichenholze nicht der Fall war; auf den eichenen Pfählen war es schwer, die Kette des Wuchtbaumes zu befestigen, denn sobald dieselbe angezogen wurde, so drückte sie sich sehr tief in das Holz ein und schnitt häufig den Kopf des Pfahles durch, wogegen das Kiefernholz grossentheils in so gutem Zustande sich befand, dass es, nachdem es ausgezogen war, noch bei Rüstungen und manchen leichten Bauten benutzt werden konnte. Beide Sorten von Pfählen waren aber abwechselnd in früherer Zeit gewählt worden und sie mochten durchschnittlich etwa 50 Jahre im Grunde

gesteckt haben. Nach der gewöhnlichen Ansicht indessen ist das Eichenholz, wenn es immer vom Wasser bedeckt bleibt, vorzugsweise von sehr langer Dauer, woher es zu Rostpfählen häufig angewendet wird; wahrscheinlich hält es sich auch besser, wenn es vollständig ausgewachsen ist, doch dürfte dabei wohl die schon oben angedeutete Vorsicht besonders zu empfehlen sein, dass eine Berührung mit fliessendem Wasser vermieden werden muss, oder dass die eichenen Pfähle wirklich Grundpfähle sind.

Es fehlt auch keineswegs an Erfahrungen, welche beweisen, dass das Eichenholz sich unter Wasser zuweilen sehr lange erhält; so fand man, dass eichene Pfähle, die in einem Moore bei Lancaster wahrscheinlich vor 900 Jahren eingerammt waren, noch ganz gesundes Holz enthielten *), und als man einen Pfahl aus der Brücke, die Trajan unterhalb Belgrad erbaut hatte, vor etwa 50 Jahren auszog, so ergab es sich, dass derselbe im äussern Umfange etwa auf $\frac{1}{2}$ Zoll Stärke in Chalcedon verwandelt war. Ebenso findet man zuweilen, dass das Holz von Schiffen, die vor langer Zeit gesunken sind, theilweise überaus fest geworden ist, so dass man aus einzelnen Stücken Lineale verfertigt, die ebenso schwer und hart und sogar von derselben schwarzen Farbe wie Ebenholz sind. Doch kommt andererseits auch wieder der Fall vor, dass solche alten Schiffswracke, die aus Eichenholz bestanden und gewiss immer unter Wasser gelegen hatten, durch die Baggereimer zerschnitten und auf diese Art fortgeschafft wurden; beide Fälle sind in der Nähe des Pillauer Hafens vorgekommen.

In England wählt man gemeinhin das Buchenholz, doch auch das Ellernholz hat seiner geringen Festigkeit unerachtet, wenn es vom Wasser immer bedeckt geblieben war, sich als sehr dauerhaft gezeigt. Ausserdem wird man keinen Anstand nehmen, jede andere Holzart, wenn dieselbe in passenden Stämmen und billig zu beschaffen ist, zu Pfählen zu gebrauchen und nur diejenigen Gattungen, welche besonders weich sind, wie Weiden und Pappeln, wird man jederzeit ausschliessen müssen. Endlich ist zu erwähnen, dass man auch gusseiserne Spitzpfähle dargestellt und zuweilen statt der hölzernen verwendet hat, dieses ist indessen bei Rosten nie vorgekommen, sondern nur bei Bohlwerken, und sie erhielten als-

*) *The Civil Engineer and Architect's Journal. II. p. 30.*

dann eine solche Einrichtung, wie sie dieser Construction entsprach, woher denn hiervon auch passender bei Gelegenheit der Uferschälungen die Rede sein wird.

Was die Stärke der Pfähle betrifft, so pflegt man selbige gemeinhin von ihrer Länge abhängig zu machen; Perronet sagt, dass die Pfähle bei 15 bis 18 Fuss Länge eine mittlere Stärke von 10 Zoll erhalten und letztere auf jede folgende 6 Fuss um 2 Zoll zunehmen muss, doch bemerkt er, dass für lange Pfähle, die grossentheils im Grunde stecken und die sonach am Biegen und Brechen verhindert werden, es genügt, wenn man auf jede 6 Fuss Zunahme der Länge (über jene ersten 18 Fuss) die mittlere Stärke um 1 Zoll wachsen lässt, woher denn z. B. ein 30 Fuss langer Pfahl nur 12 Zoll mittlere Stärke erhalten, oder derselbe am Stammende 14 und am Wipfelende 10 Zoll messen darf. Es ist klar, dass man bei langen Pfählen von dieser Regel abweichen muss, und im Allgemeinen ist wohl kein grosses Gewicht darauf zu legen, denn die Umstände sind sehr verschieden, welche eine grössere oder mindere Stärke des Pfahles bedingen. Steckt der Pfahl seiner ganzen Länge nach im Boden, woselbst er sich nicht biegen kann, so wird eine geringe Stärke schon ausreichen, um sehr grosse Lasten zu tragen; steht dagegen ein bedeutender Theil desselben frei, so muss dieser einen solchen Durchmesser haben, dass keine Besorgniss entsteht, es möchte aus Mangel an rückwirkender Festigkeit oder an Steifigkeit ein Bruch eintreten. Bei Bohlwerkspfählen kommt die relative Festigkeit vorzugsweise in Betracht, und der Durchmesser des Pfahles muss dabei so gewählt werden, dass der horizontale Druck der Hinterfüllungserde einen hinreichenden Widerstand findet, doch gewöhnlich pflegt man noch durch Erdanker in diesem Falle für die gehörige Sicherheit zu sorgen. Endlich ist hierbei noch der Umstand zu berücksichtigen, dass das Holz mit der Zeit seine Festigkeit verliert, oder es auch wirklich durch das Wasser verzehrt wird; wo man also die unmittelbare Berührung mit fliessendem Wasser nicht verhindern kann, da muss man besonders starkes Holz wählen. Diese sämmtlichen Rücksichten sind jedoch immer nur innerhalb gewisser Grenzen entscheidend, und es kommt jedesmal darauf an, ob man das Holz, wie man es nach den Umständen zu haben wünscht, auch wirklich erhalten kann. In England und Frankreich wendet man

ganz allgemein schwächere Pfähle an, als dieses bei uns geschieht, und wenn dieselben auch mehrere Fuss weit frei stehen sollten, was doch selten vorkommt, so wird immer, so lange das Holz noch einigermaassen fest ist, keine Besorgniss eines Bruches entstehen. Rennie fand, dass Prismen von Eichenholz, die nur 2 Zoll stark und breit waren, bei einer Länge von resp. 2,4 und 6 Fuss noch Lasten von 80000, 70000 und 50000 Pfund tragen konnten, und halb soviel trugen auch die Prismen von Tannenholz (*White deal*), woher Pfähle von 8 bis 9 Zoll Durchmesser, wie man sie in England gewöhnlich anwendet, noch ganz sicher die grössten Belastungen unterstützen. *)

Die Pfähle müssen, ehe man sie setzt, von der Rinde entblösst werden, dieses ist schon aus dem Grunde nöthig, um die Reibung beim Einrammen möglichst zu mässigen, denn die rauhe Rinde verhindert das Eindringen des Pfahles, ohne irgend die Stärke und Tragfähigkeit desselben zu vergrössern. Am besten ist es, wenn die Rinde gleich nach dem Fällen, oder wenigstens sobald das Holz angeliefert ist, abgeschält wird, denn dadurch befördert man das Austrocknen und verhindert, dass die Säfte in dem frischen Holze nicht in Fäulniss übergehen und das Holz verderben; ausserdem leiden diejenigen Stämme, welche lange unter der Rinde liegen, auch sehr von dem Wurme, der jedoch bald stirbt, wenn das Holz dem Zutritte der Luft freigestellt wird. Das Entfernen des Splintes von den Pfählen ist nicht nöthig, denn wenn derselbe auch wirklich nur eine geringere Festigkeit hat, so vermehrt er doch immer noch einigermaassen die Tragfähigkeit des Pfahles, und besonders wichtig ist es, dass er den Kern vor manchen Beschädigungen schützt. Nach den Untersuchungen, die Buffon über die Festigkeit des Splintes im Vergleiche zu der des innern Holzes von demselben Eichenstamme anstellte, ergab sich nur die Differenz von etwa ein Fünfzehntel, was mit dem Unterschiede des specifischen Gewichtes beider übereinstimmt, und hiernach zu urtheilen würde man den Pfahl schon sehr bedeutend schwächen, wenn man den Splint abhauen wollte. Es ist freilich nicht in Abrede zu stellen, dass letzterer um Vieles vergänglicher ist, aber selbst in diesem Falle verhindert

*) *Davy constructive manual. I. p. 57.*

er noch immer die unmittelbare Berührung des Wassers mit dem festeren Holze.

Das vollständig scharfkantige Beschlagen der Spitzpfähle und namentlich der Rostpfähle lässt sich hiernach auch nicht rechtfertigen. An manchen Orten ist man freilich zur Anwendung von Balkenholz gezwungen, indem nur solches zu haben ist; so z. B. ist das sehr feste Polnische Kiefernholz, welches die Weichsel herabgeflösst wird und das sich durch die sehr feinen Jahresringe so augenfällig von dem deutschen Kiefernholze unterscheidet, jedesmal schon roh beschlagen und andererseits ist der Ankauf von beschlagenem Holze auch insofern zuweilen zu empfehlen, indem die Güte des Stammes sich alsdann leichter erkennen lässt. Wenn man jedoch die Pfähle als Rundholz angekauft hat, so ist kein Grund mehr vorhanden, sie vor dem Einrammen noch beschlagen zu lassen, und eine Ausnahme kommt nur da vor, wenn ein Bohlwerk recht regelmässig und sauber ausgeführt werden soll, wobei die runden Stämme nicht passend erscheinen möchten.

Ein sehr wichtiger Umstand ist die Bestimmung der erforderlichen Länge der Pfähle; bei Bohlwerkspfählen hat dieses keine Schwierigkeit, indem solche nicht stark von oben belastet werden und ein späteres Eindringen bei ihnen nicht zu besorgen ist, wenn sie auch nicht sehr fest eingerammt worden sind. Durch den Seitendruck werden sie auch nicht in ihrem untern Theile, womit sie im Boden stecken, fortgedrängt, vielmehr können sie nur oben sich überlehnen, was durch Erdanker verhindert werden muss. Bei den Rostpfählen dagegen tritt, wie bereits erwähnt worden, entweder die Bedingung ein, dass sie den festen Untergrund erreichen und sonach die Last des Baues auf diesen übertragen sollen, oder sie müssen, wenn der Boden mehr gleichförmig ist, so tief eingerammt werden, dass die Reibung, welche sie von der umgebenden Erde erfahren, ihnen die nöthige Tragfähigkeit giebt. In beiden Fällen muss man sie so lange einrammen, als sie noch merklich tiefer dringen, und nur, wenn sie bei der Hitze oder unter dem Schlage des durch die Maschine gehobenen Rammklotzes nur einige Linien weit ziehen, pflegt man sie als feststehend zu betrachten und ihnen die erforderliche Tragfähigkeit beizumessen. Die Schwierigkeit besteht nun darin, vorher zu wissen, in welcher Tiefe sie diesen festen Stand erreichen

werden. Hat man sie zu lang gewählt, so sind dadurch nicht nur unnöthiger Weise die Kosten für den Ankauf des Holzes vermehrt, sondern die Arbeit des Setzens der Pfähle wird auch schwieriger und man muss vielleicht höhere Rammen gebrauchen. Noch grösser ist aber der Uebelstand, wenn die Pfähle zu kurz sind und sie, während ihr Kopf den vorher bestimmten Horizont des Rostes erreicht, noch immer mit Leichtigkeit eindringen. Man muss, wenn man in diesem Falle sicher gehen will, die Arbeit unterbrechen und längere Pfähle herbeischaffen, doch zuweilen pflegt man auch, wenn dieses gar zu umständlich erscheint, die Anzahl der Pfähle zu vermehren und sonach die Belastung jedes einzelnen zu ermässigen. Endlich aber stellt man auch wohl auf einen solchen Pfahl, der schon ganz in den Boden eingedrungen ist, ohne einen festen Stand angenommen zu haben, noch einen zweiten auf; man nennt dieses das Aufpfropfen der Pfähle. Ein solches Verfahren ist bei einzelnen Pfählen wohl zulässig, aber es darf durchaus nicht bei mehreren neben einander vorkommen, weil alsdann die Gefahr eintritt, dass der Theil des Rostes, der darauf ruht, seitwärts umfallen möchte, und dazu kommt auch noch, dass durch ein solches Aufpfropfen der Effect des Schlages der Ramme sehr geschwächt wird und sonach ein ganz anderes Maass über das Minimum des Eindringens während einer Hitze eingeführt werden muss. Perronet erzählt, dass beim Bau der Brücke zu Orleans manche Pfähle sogar zweimal gepfropft werden mussten *), doch meint er, dass sie alsdann einen hinreichend festen Stand wirklich erreichten.

Die Art, wie bei dem erwähnten Brückenbau die Pfähle gepfropft sind, ist Fig. 196 dargestellt, es wurden nämlich auf eine Länge, welche dem doppelten Durchmesser des Pfahles gleich kam, zwei prismatische Körper, sowohl aus dem untern Pfahle, als aus dem anzupfropfenden Stücke ausgeschnitten, von denen jeder einen Quadrant des Querschnittes zur Grundfläche hatte. Auf solche Art griffen beide Theile in einander und sie wurden in dieser Verbindung noch durch zwei eingelassene Zugbänder zusammengehalten, so dass also der eiserne Beschlag an der Seite nicht vorstand und er dadurch weder heraufgeschoben werden

*) *Description des ponts etc.* p. 221.

konnte, noch auch die Reibung vermehrte. Man darf indessen immer nicht hoffen, dass das aufgepfropfte Stück hierdurch recht innig mit dem untern Pfahle verbunden ist, so dass gar kein Umbiegen seitwärts zu besorgen wäre. Eben so wenig wird man dieses durch Schienen erreichen, die man zur Seite annagelt. Man muss, wenn man Pfähle aufzupfropfen sich gezwungen sieht, immer darauf gefasst sein, dass ein Bruch hier sogleich eintritt, wie die Veranlassung dazu vorkommt; dieses lässt sich auf keine Art vermeiden und es ist also hinreichend, nur dafür zu sorgen, dass die beiden Stämme sich nicht von einander entfernen können, so dass also nicht etwa der obere sich seitwärts neben dem untern vorbeischiebt, und demnächst müssen beide Stücke sich mit recht grossen Flächen berühren; auch darf nicht durch Ausschneiden in der Verbindung schon die Veranlassung zum Spalten gegeben sein. Aus diesen Gründen dürfte ein in der Axe des untern Pfahles eingetriebener starker eiserner Dorn, der etwa 6 Zoll weit in ein vorgebohrtes Loch in dem obern Pfahle eingreift, besonders zu empfehlen sein, während zugleich fest aufgetriebene Ringe ein Spalten des Holzes verhindern. In England wendet man auch, wie Fig. 222 im Durchschnitte zeigt, gusseiserne Schuhe an, in welche beide Holzstücke eingesetzt werden, ohne sich zu berühren, indem eine gusseiserne Scheidewand zwischen beiden liegt. Wenn ein aufgepfropfter Pfahl sich nicht in der Richtung des Druckes befindet, den er auf das untere Stück des Pfahles überträgt, so kann er von dem umgebenden Erdreiche nicht gehörig gehalten werden und er lehnt sich daher seitwärts, ganz in derselben Art, als wenn er an dieser Stelle mit einem Charnier versehen wäre. Dieses ist der Grund, weshalb man sich sehr hüten muss, viele Pfähle aufzupfropfen, denn sie können alsdann von denjenigen, die in einem Stücke durchgehen, nicht mehr gehörig gehalten werden.

Um nun diesen Zufälligkeiten zu begegnen und beim Ankaufe der Pfähle schon deren Länge sicher beurtheilen zu können, so ist eine genaue Untersuchung des Grundes wieder nothwendig. Befindet sich in der Tiefe, die mit dem Pfahle erreicht werden kann, eine durchaus feste Schicht, oder streicht etwa hier ein Felslager darunter fort, so giebt sich dieses durch das Bohren, oder durch den Gebrauch des Sondireisens sehr sicher

zu erkennen, es bleibt aber noch zweifelhaft, ob jene Schicht überall in gleicher Höhe liegt, oder in welcher Neigung und nach welcher Seite sie abfällt. Man muss sonach mehrere Stellen auf diese Art untersuchen und man kann alsdann aus der Uebereinstimmung der Tiefe auch darauf schliessen, ob vielleicht einzelne Klüfte im Gesteine sind, wo die Pfähle viel weiter eindringen und daher eine grössere Länge für sie angenommen werden muss. Bei der Brücke zu Orleans fand dieses in der That statt, der Tuff, der den Untergrund bildete, zeigte eine so abwechselnde Oberfläche, dass mehrere Pfähle sehr bald zum Stehen kamen, während die meisten erst in 30 Fuss Tiefe feststanden und einzelne sogar 50 bis 60 Fuss eindrangen. Sobald die Pfähle wirklich den Fels erreichten, so gab sich dieses durch den hellen Klang und das starke Zurückspringen des Rammklotzes zu erkennen.

Wenn dagegen keine so scharfe Begrenzung zwischen dem losen und dem festen Grunde stattfindet, oder wohl gar die Pfähle immer im weichen Boden bleiben und sie nur durch die vermehrte Reibung beim tieferen Eindringen endlich einen festen Stand annehmen, so lässt sich durch die angedeutete Untersuchung nicht mehr mit einer hinreichenden Sicherheit auf die erforderliche Länge des Pfahles schliessen, und es bleibt alsdann nur noch das Mittel übrig, dass man bei der Entwerfung des Projectes und ehe das Holz angekauft wird, eine Ramme aufstellen und einige Pfähle zur Probe eintreiben lässt. Dieses Mittel ist zwar sehr umständlich, man darf es indessen nicht umgehen, wenn man späteren Unannehmlichkeiten vorbeugen will, und wenn man einmal eine solche Probe einleitet, so muss man dieselbe auch an verschiedenen Punkten der Baustelle wiederholen, um sich zu überzeugen, ob überall ungefähr eine gleiche Länge für die Pfähle erforderlich ist, denn auch im losen aufgeschwemmten Boden zeigen sich zuweilen in geringen Abständen schon sehr merkbare Verschiedenheiten. Endlich wäre auch noch zu erinnern, dass man der Sicherheit wegen immer lieber die Pfähle etwas zu lang, als zu kurz wählen muss, denn die Vermehrung der Kosten ist im ersten Falle viel geringer, als im letzten, und man entgeht dadurch mit einiger Sicherheit den Unterbrechungen der Arbeit, welche bei Fundirungen deshalb so überaus nachtheilig sind, weil sie leicht

Veranlassung sein können, dass die beschränkte Dauer eines günstigen Wasserstandes ungenützt vorübergeht.

Ferner ist hier die Frage zu berühren, ob man die Pfähle in der Richtung einrammen soll, wie sie gewachsen sind, oder in einer umgekehrten, so dass das Stammende nach oben gekehrt wird. Es leidet keinen Zweifel, dass wenn der Pfahl nur auf einen gewissen kleinen Theil seiner Länge im Boden steckt und er in beiden erwähnten Fällen auf eine gleiche Art von dem umgebenden Erdboden gehalten wird, dass er alsdann dem Einbiegen oder Brechen durch eine Belastung besser widerstehen wird, wenn das Stammende nach unten, als wenn dasselbe nach oben gekehrt ist; in ähnlicher Art muss jede Stütze (wie z. B. der Fuss an einem Tische) so befestigt werden, dass das stärkere Ende auf diejenige Seite trifft, wo die Befestigung stattfindet. Für den angegebenen Fall empfiehlt daher auch Perronet, das Stammende des Pfahles nach unten zu stellen, und er führt dabei auch noch an, dass der Pfahl bei solcher Richtung in einer etwa um den vierten Theil kürzeren Zeit zum festen Stande kommt, als wenn das Wipfelende abwärts gekehrt ist. Der letzte Umstand würde allerdings dafür sprechen, die erste Anordnung zu wählen, und man hat auch sonst bemerkt, dass das Eindringen des Pfahles hierbei Anfangs zwar etwas langsamer, aber wenn er weiter herabgekommen ist, merklich schneller erfolgt, als im entgegengesetzten Falle. Man erklärt dieses dadurch, dass die Spitze eine weitere Oeffnung bildet und das dünne Ende des Pfahles, welches derselben folgt, weniger Widerstand findet, in ähnlicher Art wie man den Futterröhren bei Artesischen Brunnen auch einen seitwärts vortretenden Schuh giebt, um den Druck oder die Reibung auf die Röhre selbst zu vermindern. Man muss indessen hierbei befürchten, dass in demselben Maasse, wie die Schläge des Rammklotzes wirksamer werden, auch ein Eindrücken unter einer starken Belastung um so leichter erfolgen kann, und es kommt dazu noch der Umstand, dass im Allgemeinen das Eindringen des Pfahles, während er eingerammt wird, durch die Compression des Bodens erschwert wird, die nicht dauernd ist; man überzeugt sich hiervon durch die bekannte Erfahrung, dass nach einer Pause von mehreren Arbeitsstunden die Pfähle gewöhnlich wieder merklich besser ziehen, als es vorher geschah.

Indem nun ein Pfahl, dessen Stammende abwärts gerichtet ist, eine solche Compression nur vor seiner Spitze erzeugt, so wird er nach der erfolgten Ausgleichung des Druckes weniger fest stehen, als wenn er auf seine ganze Länge einen gehörigen Druck erleidet und hier überall die Reibung ihn zurückhält. Man hat keine directen Versuche angestellt, wodurch diese Ansicht sicher bestätigt oder widerlegt wäre, aber sie wird ziemlich allgemein angenommen, und das ganz gewöhnliche Verfahren ist auch dieses, dass man das Wipfelende des Pfahles nach unten kehrt. Eine Ausnahme davon macht man nur in dem Falle, wenn ein Heben der Pfähle durch Eis besorgt wird, wie dieses bei den Jochpfählen einer Brücke und bei Eisbrechern besonders vorkommt. Der wichtigste Umstand ist in dieser Beziehung aber wohl der, den auch Perronet anführt, dass man besonders dafür sorgen muss, das stärkere Ende des Pfahles an diejenige Stelle zu bringen, wo der grösste Angriff des Wassers stattfindet oder andere Beschädigungen vorkommen. Bei Bohlwerks- und Brückenpfählen ereignen sich die meisten Beschädigungen durch Fäulniss und durch den Eisgang in einiger Höhe über dem niedrigen Wasserstande; trifft diese Stelle über die Mitte des Pfahles, was wohl gemeinhin der Fall ist, so muss man das Wipfelende nach unten kehren. Alsdann wird nämlich, wenn solche unvermeidliche Beschädigungen nach und nach vor sich gehen, die Abnutzung weniger bedenklich sein, als wenn der Pfahl umgekehrt gestellt wird, weil im ersten Falle der Querschnitt hier etwas grösser ist und also längere Zeit hindurch die genügende Holzstärke übrig bleibt. Etwas Aehnliches kann aber auch bei Rostpfählen leicht eintreten, denn am untern Theile derselben, wo sie ganz im Grunde stecken, ist eine Berührung durch fliessendes Wasser viel weniger wahrscheinlich, als oben, und sonach rechtfertigt sich auch hier aus demselben Grunde das gewöhnliche Verfahren, das Stammende nach oben zu kehren.

Indem man die Pfähle unten mit einer Spitze versieht, so ist besonders darauf zu achten, dass diese weder selbst zu scharf ausläuft, noch auch dass die Kanten zwischen ihren Seitenflächen sehr fein werden, denn in diesem Falle brechen und spalten die dünnen Holztheile aus, und indem dadurch leicht die noch übrigbleibende Spitze mehr nach einer Seite gerichtet sein kann, als

nach der andern, so dringt der Pfahl schräge ein und er erfährt überdies einen grösseren Widerstand. Eine feine Zuschärfung ist aber nach der Erfahrung von keinem merklichen Nutzen und es genügt daher, der Spitze nur den doppelten Durchmesser des Pfahles zur Länge zu geben, wie man dieses in Frankreich und England auch gewöhnlich thut, häufig misst diese Länge sogar nur das Ein- und Einhalbfache des Durchmessers, oder noch weniger. Ausserdem muss das äussere Ende der Spitze nach abgestumpft und in eine flache Pyramide verwandelt werden. Die Spitze wird mit quadratischem Querschnitte oder in Form einer vierseitigen Pyramide zugeschnitten, wie Fig. 197 zeigt, sie lässt sich auf diese Art am leichtesten abschnüren und bearbeiten und die Seitenflächen treffen dabei auch unter einem stumpfen Winkel gegen einander. Man hat zuweilen auch der Spitze die Form einer dreiseitigen Pyramide gegeben und zwar um das Drehen des Pfahles zu verhindern, doch wird dadurch eine Beschädigung leichter möglich, weil alsdann die Seitenflächen unter einem spitzen Winkel zusammenstossen.

Um die Beschädigungen der Pfahlspitzen beim Einrammen namentlich in festem Boden zu verhindern, hatte man früher, wie Perronet erwähnt, die Methode sie zu bebrennen, was indessen wohl keinen grossen Vortheil gewähren konnte, denn wenn es vielleicht das Absplittern auch verhindern mochte, so war ein Ausbrechen dadurch wahrscheinlich nur um so leichter möglich geworden. Dagegen pflegt man häufig die Spitze mit Eisen zu beschlagen oder einen Pfahlschuh darauf anzubringen; Fig. 198 zeigt einen solchen; er besteht aus einer eisernen Pyramide, welche eben die Spitze des Pfahles bildet, und an diese sind zur Seite vier Federn angeschmiedet, welche auf den Seitenflächen der Pfahlspitze aufliegen und mittelst starker Nägel daran befestigt werden. Das Aufbringen der Pfahlschuhe erfordert viele Sorgfalt, weil eine sehr innige Berührung zwischen dem Holze und Eisen stattfinden muss; die Spitze des Pfahles muss, wenn er mit dem Schuhe versehen werden soll, nicht mehr zugeschärft sein, sondern sie muss senkrecht abgeschnitten werden, so dass sich eine quadratische Grundfläche von 4 bis 9 Quadratzoll bildet, und mit einer eben so grossen und ganz ebenen Fläche muss der Pfahlschuh versehen sein, damit der Druck und der Stoss des Pfahles

den letzteren recht gleichmässig trifft. Wenn man auf diesen Umstand nicht sehr aufmerksam ist und man vielmehr die genaue Verbindung nur durch die Federn und Nägel darstellen will, so geschieht es leicht, dass sich hier ein ungleichmässiger Widerstand bildet und sonach der Pfahlschuh sich verschiebt. Bei der grossen Masse von alten Pfählen, die ich am Pillauer Hafen ausziehen liess, waren diejenigen, welche vor dem sogenannten hohen Bohlwerke steckten, sämmtlich mit Pfahlschuhen versehen, aber kaum beim zehnten Theile derselben sass der Pfahlschuh in der Axe des Pfahles; fast jedesmal hatte er sich etwas seitwärts gebogen und er musste alsdann schon das Eindringen des Pfahles erschweren, aber sehr häufig sass die Spitze auch ganz auf der Seite; es waren die Federn theilweise abgebrochen und die Spitze war oft senkrecht gegen die Richtung des Pfahles gekehrt, ja zuweilen sogar aufwärts, was natürlich schon beim Einrammen geschehen sein musste, woher denn auch ein solcher Schuh nicht nur gar nichts nützen konnte, sondern er auch das Eindringen des Pfahles erschweren musste. Man wird solchen Uebelständen freilich schon in hohem Grade begegnen, wenn man, wie eben erwähnt, den Pfahl auf einer breiten und ebenen Fläche im Schuhe aufstehen lässt; der Schuh darf auch nicht heiss aufgebracht werden, weil er sonst die Grundfläche des Pfahles verbrennt und dadurch die unmittelbare Berührung des festen Holzes mit dem Eisen verhindert. Ferner ist es aber noch nothwendig, dass der Schuh auch aus einer hinreichend grossen Eisenmasse bestehen muss, denn wenn man dazu nur 3 bis 5 Pfunde Eisen verwenden will, so ist es keine Möglichkeit, die angegebene Grösse der Berührungsfläche darzustellen, und hierin lag wohl hauptsächlich der Grund von der Nutzlosigkeit der Pfahlschuhe, die in Pillau angewendet waren. Ein Gewicht von 10 Pfunden dürfte sonach wohl das Minimum sein, was auf jeden Pfahlschuh gerechnet werden muss, sehr häufig ist es aber noch grösser angenommen; so wendete Telford bei den Fangedämmen der St. Katharine's Docke in London Pfahlschuhe an, die 16 Pfund wogen. Beim Bau der Brücke zu Neuilly benutzte Perronet dergleichen von 25 Pfund und de Cessart wandte beim Bau der Brücke zu Saumur Pfahlschuhe von 25 bis 30 Pfund an. Viel grösser ist indessen noch das Gewicht der gusseisernen Pfahlschuhe, die man in

neuerer Zeit in Frankreich eingeführt hat. Fig. 199 *a* und *b* zeigt in der Seitenansicht und im Durchschnitte einen solchen, wie ihn Deschamps angiebt. *) Die ebene Fläche, in welcher sich der Pfahl und der Schuh berühren, hat die halbe Stärke des Pfahles zum Durchmesser, so dass das Gewicht des Schuhes bei 10 Zoll starken Pfählen schon gegen 50 Pfund sein muss. Batsch **) führt auch an, dass er bei einer Kaimauer in Paris dergleichen habe anwenden sehen, die 30 Kilogramme oder 64 Pfund wogen. Die Zeichnung, die von Batsch mitgetheilt wird, unterscheidet sich von der hier gegebenen noch dadurch, dass der Schuh nicht einen Kegel, sondern eine vierseitige Pyramide bildet und er daher auf einen beschlagenen Pfahl passt. Diese gusseisernen Schuhe sind statt der Federn mit einem sie ringsumgebenden Rande versehen und ihre Befestigung im Pfahle erhalten sie durch einen eingegossenen Dorn aus Schmiedeeisen, der Widerhaken hat und der in ein vorgebohrtes Loch im Pfahle passt.

Es muss hierbei noch die Frage näher erörtert werden, in welchem Falle die Pfahlschuhe nothwendig sind; es ist klar, dass sie in weichem Grunde nichts weiter nützen können, als dass sie vielleicht die Reibung an der Spitze des Pfahles etwas mässigen, doch ist dieses ein sehr gleichgültiger Umstand, indem der frische Grund, den die Pfahlspitze eben erst erreicht, noch nicht einen solchen Druck dagegen ausübt, dass der Unterschied in der Reibung schon sehr bedeutend sein kann; die grösste Reibung findet gegen die Seitenwände des Pfahles statt, soweit derselbe seine volle Stärke hat, und hierauf übt der Pfahlschuh keinen Einfluss aus. Aus dem erwähnten Grunde bringt man die eiserne Spitze auch nie an, sondern sie soll die harten Körper durchstossen oder leichter zur Seite drücken, als das Holz dieses thun kann. Nun ist es aber nicht zu bezweifeln, dass, sobald ein grosser und fester Stein getroffen wird, derselbe dem Pfahlschuhe eben so wenig ausweichen oder nachgeben wird, als der hölzernen Spitze, und mit Holzstämmen, die im Grunde stecken, möchte wohl auch dasselbe stattfinden. Es bleibt also ein Vortheil des Schuhes nur noch in dem Falle denkbar, wenn der berührte

*) *Nouvelle Collection de dessins relatifs à l'art de l'Ingénieur.*

**) Hydrotechnische Wanderungen. Bd. II. S. 39.

Körper keinen bedeutenden Widerstand leistet, wobei vielleicht die Spitze des Pfahles noch stumpf geschlagen werden möchte, bevor sie hindurchdringt und sie sonach späterhin einen viel grösseren Widerstand erfährt. Für diesen Fall würde der Vorzug des Pfahlschuhes noch immer wesentlich sein, wenn man sicher sein konnte, dass er nicht leidet und er seine Stellung nicht verändert, aber eben dieses darf man kaum voraussetzen, da seine Verbindung mit dem Pfahle immer sehr lose ist, und die angeführten Erfahrungen zeigen auch, dass die Nägel leicht nachgeben, sobald die Tendenz zu einer Verschiebung vorhanden ist. Dazu kommt noch, dass der Stoss bei der Uebertragung sehr gemässigt wird und man sonach wohl annehmen kann, dass in vielen Fällen die unbedeckte Spitze leichter eindringt, als der Pfahlschuh. Bei dem aus sehr grobem Sande bestehenden Boden in Pillau bestätigte sich diese Vermuthung vollständig; die Pfähle, welche mit keinen Schuhen versehen waren, zeigten, wenn ich sie mitunter nach kurzer Zeit (wenn sie etwa vom Eise durchschnitten waren) ausziehen musste, allerdings eine rauhe Oberfläche und die einzelnen Fasern des Kiefernholzes hatten offenbar beim Einrammen sich zurückgelehnt, auch waren hin und wieder starke Eindrücke zu bemerken, die wohl vom Aufstossen auf harte Körper herrühren mochten, und zuweilen fand es sich, dass die äussere Spitze etwas breit geschlagen war, was ich einer gleichen Ursache zuschrieb; es war indessen niemals eine solche Beschädigung wahrzunehmen, die eine merkliche Erschwerung des Eindringens des Pfahles hätte vermuthen lassen, und aus diesem Grunde prüfte ich durch einen sehr überzeugenden Versuch den Nutzen, den die Pfahlschuhe unter diesen Verhältnissen gewährten; ich liess nämlich an derselben Stelle, wo sie bisher immer angewendet waren, abwechselnd einen Pfahl um den andern damit versehen und es ergab sich sehr deutlich, dass die Pfähle ohne Schuhe etwas leichter eindrangen als die, welche einen solchen hatten. Es sind später auch bei andern Bodenarten, und namentlich bei Kiesboden, und mit schwereren Pfahlschuhen ähnliche Versuche gemacht, und der Erfolg war immer der, dass man durchschnittlich wenigstens keinen Unterschied bemerken konnte. Hiernach scheint der Nutzen der Pfahlschuhe sehr zweifelhaft zu sein, jedenfalls wird er aber nur in seltenen Fällen eintreten, und um ihn zu erreichen, ist

die Anwendung schwerer und sehr sorgfältig bearbeiteter Schuhe nothwendig, welche nicht ohne bedeutende Kosten zu beschaffen sind.

Was die fernere Bearbeitung der Pfähle betrifft, so muss bemerkt werden, dass sie vor dem Setzen recht eben und zwar senkrecht gegen ihre Axe abgeschnitten werden müssen. Um aber ein Aufspalten des Kopfes zu verhindern, was besonders in dem Falle zu geschehen pflegt, wenn der Schlag sehr nahe an den Rand trifft, so muss man die Kanten an der Oberfläche brechen. Zuweilen versieht man auch zu demselben Zwecke jeden Pfahl mit einem Ringe, wie dieses bereits bei Gelegenheit der Kunstramme bemerkt worden ist. Ausserdem legen sich aber auch, wenn der Rammklotz längere Zeit hindurch den Pfahl getroffen hat, die sämmtlichen Holzfasern um und bilden dadurch gleichsam eine weiche Unterlage, die den Effect der Ramme ungemein schwächt; sobald dieses geschieht, muss man einige Zoll weit den Pfahl abschneiden, um frisches und festes Holz dem Schlage des Rammklotzes auszusetzen. Der Vortheil hiervon zeigt sich oft auf eine überraschende Art, denn sobald dieses geschehen, dringt der Pfahl wieder weit leichter ein. Ganz dieselbe Wirkung hat zuweilen eine geringe Verstellung der Ramme, wodurch der Schlag des Klotzes mehr nach der Axe des Pfahles geführt wird, und überhaupt ist eine unausgesetzte Aufsicht auf die Rammarbeiten zu deren Beschleunigung und Erleichterung dringend nöthig.

Wenn mehrere Reihen von Rostpfählen hinter einander eingerammt werden sollen, so entsteht die Frage, ob man mit den äussern oder mit den innern den Anfang zu machen hat. Gewöhnlich wählt man das erste, indem alsdann durch die äussern Pfähle schon der Boden nach der Mitte der Baugrube comprimirt wird und die hier einzurammenden Pfähle dadurch einen um so festeren Stand erhalten. Jedenfalls werden die letzten früher zum Stehen kommen, da jedoch die Spannung, welche ihr tieferes Eindringen verhindert, sich mit der Zeit wieder etwas verliert, so können sie dadurch leicht so lose werden, dass der ganze Pfahlrost weniger feststeht, als wenn man mit den innern den Anfang gemacht und die Compression allmälig nach der Seite hin getrieben hätte. Wo Spundwände vorkommen, findet jedoch diese Regel eine Ausnahme, weil die Spundwand sich im festen Boden viel weniger genau ausführen lässt.

Es ist schon früher von manchen Eigenthümlichkeiten die Rede gewesen, die sich bei verschiedenen Bodenarten beim Einrammen der Pfähle zuweilen zu erkennen geben. Hierher gehört, dass mancher Boden so elastisch ist, dass er mit dem Pfahle zugleich sich senkt, sobald der letztere den Schlag des Rammklotzes erhält und sonach die beabsichtigte Wirkung der Ramme ganz aufhört. Man hat in solchem Falle eine Belastung des Pfahles, schon während er unter der Ramme war, angebracht, passender möchte es aber immer sein, das Moment des Stosses zu vermehren, oder den Klotz aus grösserer Höhe fallen zu lassen, wodurch der Pfahl von der Erde losgerissen wird und tiefer eindringt. Andererseits hat es sich hin und wieder auch ereignet, dass Pfähle, die bereits gesetzt waren, mit einem Male wieder hervorkamen; einen solchen Fall erzählt Perronet bei Gelegenheit der Brücke zu Orleans, woselbst ein Quell den Grund rings um einen Pfahl so auflockerte, dass letzterer sich löste und heraufschwamm. Dasselbe geschah auch auf einer Schleusenbaustelle im Bromberger Canale *); der Boden bestand daselbst aus Thon, der auf Sand lagerte, und nachdem man die Rammarbeiten beinahe beendigt, auch bereits die Fachbäume auf die Spundpfähle aufgebracht hatte, so hoben sich plötzlich alle Pfähle und Spundpfähle und letztere so stark, dass sie den darauf liegenden Fachbaum sogar um 9 Zoll aufwärts bogen. Man schrieb dieses Ereigniss der starken Seitenbelastung des Terrains und der geringen Consistenz des Thones zu, es möchte indessen die Hauptveranlassung dafür wohl in den Quellen zu suchen sein, die man durch das Trockenlegen der Baustelle in dieselben hineinleitete und welche den Boden erweichten und ihn zugleich mit den bereits eingerammten Pfählen aufhoben. Man hat auch sonst dieselbe Erscheinung bemerkt, sie wiederholt sich aber immer nur da, wo durch das starke Wasserschöpfen eine feste Sandschicht in Triebsand verwandelt wird. Zuweilen will man auch wahrgenommen haben, dass durch den Druck der später eingerammten Pfähle die früheren wieder gehoben wurden, und eben um dieses zu vermeiden, hat man angerathen das Stammende nach unten zu kehren, in welchem Falle ihr Ausspringen weniger zu besorgen ist.

*) Prakt. Anweisung zur Wasserbaukunst v. Eytelwein. Heft I. S. 55.

Dass die Pfähle, wenn die Rammarbeit einige Stunden unterbrochen war, gewöhnlich wieder merklich leichter ziehen, als dieses vor dem Eintritte der Pause geschah, ist bereits erwähnt worden; die Erklärung dafür ist aber diese, dass die Compression des Bodens unmittelbar neben dem Pfahle sich nach und nach etwas vermindert, oder die Erdtheilchen seitwärts ausweichen. Es kann dieses offenbar nur da erfolgen, wo der Boden weich ist oder in gewissem Grade mit einer dicken Flüssigkeit Aehnlichkeit hat, und es giebt sich diese Erscheinung auch vorzugsweise in einem zähen Thonboden zu erkennen; bei den Rammarbeiten in Pillau im festen Sandgrunde war ein solcher Einfluss der Pausen kaum zu bemerken. Andererseits hat man in sehr seltenen Fällen auch wahrgenommen, wie die Unterbrechung der Arbeit einen Erfolg hatte, der dem erwähnten gerade entgegengesetzt war, so dass die Pfähle, wenn sie einige Stunden, oder auch nur kürzere Zeit hindurch ruhig gestanden hatten, gar nicht weiter eingetrieben, noch auch herausgezogen werden konnten. Beispiele hiervon sind schon oben §. 33 und §. 34 bei Gelegenheit der Beschreibung von Schleusenbauten in England angeführt worden. Die näheren Umstände sind dabei jedoch nicht bekannt, man kann aber die Erklärung dieser Erscheinung wohl nur darin suchen, dass eben durch die Pfähle dem Wasser ein freier Zutritt zu den untern Erdschichten eröffnet wurde und letztere dadurch zu quellen anfingen und sonach der Druck und die Reibung sich in hohem Grade vermehrten.

Ferner verdient hier das **Drehen** mancher Pfähle erwähnt zu werden; dieses wird nicht immer durch eine äussere Krümmung veranlasst, sondern vorzugsweise tritt es ein, wenn die Holzfasern in sich schon eine merkliche Windung zeigen, wie man dieses nicht selten findet. Man muss annehmen, dass die Erschütterung durch den Schlag des Rammklotzes sich der Länge nach durch die Fasern fortsetzt, und wenn diese nicht gerade sind, so verliert auch der Stoss seine ursprüngliche Richtung. Bei den Bauten in Pillau wurden alle Stämme, welche eine Windung in den Fasern auf einzelnen Stellen und mitunter auf grössern Längen bemerken liessen, nicht zu den eigentlichen Bohlwerken benutzt, weil sie sich nicht regelmässig genug einrammen liessen, wohl aber konnten sie noch ohne Nachtheil als Eispfähle verwendet werden, das heisst

sie wurden vor das Bohlwerk gesetzt, um das letztere vor dem Angriffe des Eises sicher zu stellen. Bei diesen zeigte sich nun ein besonders starkes Drehen unter der Ramme, und es sind Fälle vorgekommen, dass sie, obgleich sie ganz gerade Stämme bildeten, beim Eindringen auf etwa 15 Fuss Tiefe eine volle Umdrehung machten und sie sonach wieder in ihre ursprüngliche Lage zurückkamen. Die Drehung erfolgte aber in der Richtung, welche die Windung der Fasern angab, so dass die Erscheinung also ungefähr in der Art war, als ob diese Fasern, die jedoch von aussen gar nicht vortraten, sich in den Boden hineingeschroben hätten.

Zuweilen ist man gezwungen im Felsboden einzelne Pfähle einzustellen; dieses wird freilich nicht behufs der Anlage eines Pfahlrostes geschehen, der hier durchaus nicht angemessen wäre, aber wenn man vielleicht im Flussbette unter Wasser auf dem Felsen eine Bétonfundirung anbringen will, so muss man Rüstungen darüber erbauen, oder auch wohl die Baustelle einschliessen, und zu diesem Zwecke ist es nöthig, Pfähle in den Boden einzutreiben. Wollte man dieses unmittelbar durch Einrammen bewirken und etwa zu diesem Zwecke nur recht starke Pfahlschuhe anwenden, so würde man seinen Zweck nicht erreichen, denn die Eisenspitze ist nicht im Stande in den Stein einzudringen. Es bleibt alsdann nichts anderes übrig, als das Loch für den Pfahl vorzubohren, in ähnlicher Art, wie man weite Bohrlöcher behufs der Artesischen Brunnen abteuft. Dieses geschah z. B. bei Anlage des Wehrs in dem Doubs-Flusse bei Néwy, welches zur Speisung des Rhein-Rhone-Canales erbaut wurde. Der Boden bestand in klüftigem Jura-Kalke und die Fundirung sollte in Béton gemacht werden, man musste aber die zu versenkenden Bétonmassen dem unmittelbaren Angriffe des Stromes entziehen und deshalb war eine Umschliessung erforderlich, die man nur darstellen konnte, nachdem einige Pfähle eingerammt waren. Zu diesem Zwecke wurde mit einem Kronenbohrer ein Bohrloch von etwas geringerem Durchmesser, als dem der Pfähle, herabgetrieben; mehrere Arbeiter hoben dabei aus freier Hand von einer leicht aufgestellten Rüstung aus das Gestänge nebst dem Bohrer und alsdann trieb man mit einer Handramme die Pfähle ein. *) Ein ähnlicher mir bekannt

*) *Recueil de dessins relatifs à l'art de l'Ingénieur. I. Collect.*

gewordener Versuch, einen Pfahl im Mergelkalke einzutreiben, zeigte, dass demselben eine sehr feste Stellung gegeben werden konnte.

Liegt der Felsboden nicht ganz blos, sondern ist er mit weichen Erdschichten bedeckt, so werden häufig noch die Rostpfähle angewandt und ihr Zweck besteht alsdann darin, die Last des Gebäudes auf den festen Untergrund zu übertragen; dieses geschieht, sobald die Pfähle den letzteren erreichen. Nun kann es aber leicht der Fall sein, dass die obere Erdschicht nicht mächtig genug ist, um ein Ueberneigen oder gar ein vollständiges Umstürzen der Pfähle zu verhindern, wie sich dieses bei der Brücke zu Tours wirklich gezeigt hat; alsdann versucht man es gewöhnlich, die Rostpfähle mit recht starken Schuhen zu versehen und durch ein kräftiges Rammen sie noch bis zu einiger Tiefe in den Felsen hineinzutreiben. Dieses Verfahren ist aber im höchsten Grade gefährlich, da der auf der festen und harten Unterlage aufstehende Pfahl von den Schlägen des Rammklotzes weit mehr als sonst angegriffen wird; wenn er alsdann aber an seinem untern Ende spalten und brechen oder vielleicht ganz zersplittert werden sollte, so giebt sich dieses Alles während des Rammens gar nicht zu erkennen. Man bemerkt beim eintretenden Bruche nur, dass der Pfahl wieder besser zieht als früher, und man glaubt alsdann, dass eine besonders feste Schicht, auf die er getroffen hatte, bereits durchdrungen ist und er nunmehr wieder weichere Lagen durchschneidet, worin er sich gehörig fest und sicher einstellen kann. Sehr interessant sind in dieser Beziehung die Erfahrungen, die man am rechtseitigen Stirnpfeiler der Brücke zu Bergerac über die Dordogne machte. Man schlug hier 15 Pfähle, wie es scheint, nur als Probepfähle ein, und da sie mit Ausnahme eines einzigen so weit herabgetrieben waren, dass sie tief genug im festen Boden zu stecken schienen, so entschloss man sich zur Anlage eines Pfahlrostes. Nichts desto weniger war das verschiedenartige Ziehen der Pfähle doch zu auffallend gewesen, um keinen Verdacht wegen ihrer sicheren Stellung aufkommen zu lassen, und eine ganz eigenthümliche Beschaffenheit des Grundes musste man voraussetzen, um den abwechselnden Effect der einzelnen Hitzen zu erklären. Man entschloss sich hiernach, die Sache näher zu untersuchen und grub den Boden auf. Es ergab

sich, dass die sämmtlichen Pfähle, mit Ausnahme des einzigen, der nur auf eine geringe Tiefe herabzutreiben gewesen war, unten gespalten und gebrochen waren. Ich wähle aus den verschiedenen Gruppirungen der Pfahlstücken, die man hier vorfand, nur eine aus, welche die Fig. 200 darstellt. Die sämmtlichen Pfähle bestanden aus starkem und festem Holze und zwar zwölfmal aus Eichenholz und dreimal aus Kiefernholz; dieser Umstand scheint aber keinen Einfluss gehabt zu haben. Jedesmal waren schwere Pfahlschuhe und hauptsächlich gusseiserne benutzt worden. — *) Beaudemoulin **) erzählt auch, dass er einst einen Pfahlrost im Felsboden auszuführen beauftragt gewesen wäre und er später bei der Ausbaggerung der obersten losen Erdschichten gleichfalls gefunden hätte, dass mehr als die Hälfte dieser Pfähle bei der Berührung des Felsens in ähnlicher Art zerbrochen waren. Die früher erwähnte Erscheinung bei der Brücke zu Orleans, wo einzelne Pfähle sehr bald feststanden und andere bis gegen 60 Fuss herabgetrieben werden konnten, dürfte sich durch die Voraussetzung ähnlicher Beschädigungen auch am einfachsten erklären lassen.

§. 39.

Tragfähigkeit der Pfähle.

Es ist schon früher angedeutet worden, dass die Belastung der einzelnen Rostpfähle eine gewisse Grenze nicht überschreiten darf, weil sie sonst zerdrückt werden. Diese Grenze liegt gemeinhin so weit, dass man sich ihr auch nicht entfernt nähert, dagegen wird eine starke Belastung schon viel früher ein Ausweichen und tieferes Eindringen der Pfähle in den Boden bewirken und dieses namentlich in dem Falle, wenn keine festen Schichten erreicht sind. Der lose Grund, der die Pfähle alsdann trägt und umgiebt, lässt sie schon während des Rammens zu keinem recht festen Stande gelangen, denn bei der einzelnen Hitze oder bei mehreren aufeinanderfolgenden Hitzen giebt sich fast immer noch

*) *Nouvelle Collection de dessins etc.* Eine Uebersetzung des Aufsatzes, sowie eine Mittheilung der sämmtlichen Zeichnungen befindet sich auch in Crelle's Journal für die Baukunst. Bd. V.

**) *Annales des ponts et chaussées.* 1839. *II. p.* 102.

ein tieferes Eindringen zu erkennen, und wenn dieses vielleicht bei Anwendung der gewöhnlichen Zugramme auch unmerklich werden sollte, so stellt es sich gewiss sogleich wieder ein, sobald man mittelst der Kunstramme einen schweren Rammklotz aus recht grosser Höhe herabfallen lässt. Nichts desto weniger wird man auf solche Pfähle schon eine gewisse Last mit voller Sicherheit aufbringen können, während sie andererseits unter sehr starker Belastung in den aufgeschwemmten Boden sich jedesmal auch noch tiefer herabdrücken lassen. Die Abwesenheit eines absolut festen Standes giebt sich also auf zweifache Art zu erkennen, nämlich einmal bei der Einwirkung des Schlages vom Rammklotze, oder durch die mitgetheilte lebendige Kraft desselben und sodann auch durch den Einfluss des todten Druckes, welcher von der spätern Belastung herrührt. Will man beim Bau die nöthige Sicherheit erreichen und zugleich nicht unnöthiger Weise die Kosten des Baues vermehren, so kommt es nur darauf an, dem Pfahle einen so festen Stand zu geben, dass er die nach dem Bauprojecte ihn treffende Belastung mit voller Sicherheit tragen kann. Es liegt der Gedanke sehr nahe, die Leichtigkeit, womit der Pfahl während der letzten Hitzen noch eindringt, als Maassstab für die Festigkeit seines Standes zu benutzen, und man kann gar nicht zweifelhaft sein, dass eine gewisse Beziehung zwischen diesen beiden Grössen stattfinden muss; es rechtfertigt sich auch vollkommen die Annahme, dass von zweien in demselben Boden und unter übrigens ganz gleichen Umständen eingerammten Pfählen derjenige eine grössere Last tragen wird, der in der letzten Hitze weniger tief eindrang, wenn bei beiden derselbe Rammklotz zu gleicher Höhe gehoben wurde und die Hitze aus derselben Anzahl von Schlägen bestand. Wäre man also im Stande die Beschaffenheit des Baugrundes für die ganze Tiefe, zu welcher der Pfahl eindringt, genau zu bezeichnen, und zwar nicht nur in Bezug auf seine Zusammensetzung, sondern auch auf den Wassergehalt oder auf den mehr oder minder lockern Zustand desselben, und hätte man für alle Modificationen, die hierbei eintreten können, die hinreichende Anzahl von sichern Erfahrungen gesammelt, so wäre es möglich aus dem Eindringen des Pfahles unter gewissen Schlägen auf seine Tragfähigkeit mit Sicherheit zu schliessen. Dieser empirische Weg ist indessen so schwierig, dass seine Be-

nutzung kaum denkbar ist, und jedenfalls fehlt es vorläufig an den nöthigen Erfahrungen, um mit einiger Sicherheit ihn überall einzuschlagen; nur da, wo eine grössere Gleichmässigkeit des Bodens stattfindet und vielfache Rammarbeiten bereits vorgekommen sind, wird man zu beurtheilen im Stande sein, wie weit man nach den gemachten Erfahrungen die Pfähle jedesmal eintreiben muss.

Man hat indessen den angedeuteten Weg auch kaum zu verfolgen versucht und sich vielmehr bemüht, mit Zugrundelegung mancher Hypothesen zwischen der lebendigen Kraft und dem todten Drucke einen directen Vergleich anzustellen und denselben so allgemein durchzuführen, dass er unter allen Verhältnissen gültig und von der Beschaffenheit des Bodens ganz unabhängig sein soll. Es ist klar, dass dieser Versuch missglücken muss, denn die beiden Kraftäusserungen: Schlag und Druck, sind so heterogen, dass sie unter Umständen wohl gleiche Effecte hervorbringen können, sie aber im Allgemeinen sich gar nicht in Parallele stellen lassen. Man überzeugt sich aber auch leicht, dass sie in gewissen Fällen gar keine gleichen Effecte hervorbringen können; so z. B. würde der Pfahl, wenn der Boden aus einer dickflüssigen Masse bestände, nur so tief eindringen, als der hydrostatische Druck es erlaubte, und wenn er während der schnell aufeinanderfolgenden Schläge in einer Hitze auch einen etwas tieferen Stand einnähme, so würde er beim fortgesetzten Rammen doch gar nicht dauernd ziehen und sich vielmehr so verhalten, als ob er absolut fest stände, da er doch bei jeder dazu kommenden Belastung auf eine derselben entsprechende Tiefe herabsinken müsste. Mariotte stellte directe Versuche über den Effect des Schlages an und fand, dass ein Gewicht von $2\frac{1}{8}$ Pfund, welches 7 Zoll hoch herabfällt, eine gleiche Wirkung äusserte wie der todte Druck von 400 Pfund. Giebt man einer solchen Beobachtung, die sich nur auf eine bestimmte Zusammensetzung des Apparates beziehen kann, eine allgemeine Gültigkeit, so ist es leicht, die gewünschte Relation darzustellen. Perronet führt beispielsweise die Rechnung durch und kommt zu der Regel, dass man für Zugrammen das Gewicht desjenigen Rammklotzes findet, der zuletzt kein merkliches Eindringen des Pfahles bewirken darf, wenn man das Gewicht, das der Pfahl zu tragen hat, durch die Zahl 1290 dividirt, oder wenn man sicher gehen will, durch 645. Perronet sagt aber unmittelbar

darauf, er hätte dieses nur angeführt, um zu zeigen, auf welche Art man die Schätzung vornehmen könne, dass es aber unmöglich sei, auf mathematischem Wege die todten und lebendigen Kräfte mit einander zu vergleichen.

Mehrfach hat man es versucht, durch Beobachtungen an einer Waage einen solchen Vergleich darzustellen, was selbst in der neuesten Zeit in England geschehen ist. Legt man nämlich ein Gewicht in die eine Waagschale, so wird ein gleiches Gewicht, das man auf die andere bringt, dieses erste aufheben; dasselbe kann aber auch erfolgen, wenn ein viel kleineres Gewicht aus einer gewissen Höhe auf die zweite Schale herabfällt. Diese Zusammenstellung ist so einfach, dass, wenn die äussern Umstände völlig bekannt wären, es eines wirklichen Versuches gar nicht bedürfte und man die Resultate schon nach den allgemeinen mechanischen Gesetzen entwickeln könnte. Die lebendige Kraft nämlich, die das herabfallende Gewicht dem Apparate mittheilt, ist bekannt, und mit Berücksichtigung des Trägheitsmomentes aller zu bewegenden Theile kann man finden, wie hoch das grössere Gewicht durch den Stoss gehoben werden wird, und diese Erhebung wird wirklich erfolgen, wenn die Waagebalken und die Schnüre, woran die Waagschale hängt, gar keine Elasticität haben; eine solche fehlt ihnen aber nie, und so tritt denn auf einer gewissen Grenze nicht mehr eine Erhebung der Schale ein, sondern statt deren zeigt sich nur die momentane stärkere Spannung, die man nicht bemerkt. Man experimentirt also in diesem Falle über das Trägheitsmoment des Waagebalkens, der Schalen und über die Elasticität aller Theile des Apparates, aber was man eigentlich sucht, nämlich eine allgemeine Relation zwischen Stoss und Druck, ergiebt sich daraus keineswegs. Es ist auch klar, dass man bei Anwendung einer sehr schweren Waage den Effect des Stosses vergleichungsweise zu dem des Druckes immer viel geringer finden wird, als bei einer leichten Waage, und besonders wenn letztere in allen Theilen eine recht grosse Steifigkeit besitzt.

De Cessart wählte dagegen ein anderes Verfahren: er liess, während er die Brücke zu Saumur baute, sich eine Ramme zurichten, an der ein Klotz von 600 Pfund Gewicht bis 12 Fuss hoch gehoben werden konnte; hierdurch stellte er die lebendige Kraft des Stosses in den Versuchen dar. Der todte Druck wurde

durch stark belastete Hebel erzeugt. Um aber die Eindrücke beider Kraftäusserungen aufzunehmen und zu vergleichen, liess de Cessart eine grosse Anzahl von Bleikegeln in einer und derselben Form giessen, deren Basis 3 Zoll im Durchmesser hielt und deren Höhe 32 Linien betrug, die also im Querschnitte ein gleichseitiges Dreieck von 3 Zoll Seite bildeten. Der Schlag der Ramme sowohl, als der Druck darauf hatten den Erfolg, dass sie die Spitze des Kegels platt drückten und eine kreisförmige Fläche darauf darstellten, deren Durchmesser man sehr genau messen konnte. Es wurde nun ein solcher Kegel belastet und zwar mitunter mit sehr bedeutenden Gewichten, so dass der Druck in einzelnen Beobachtungen nahe an 17000 Pfund betrug; nachdem aber diese soweit die Spitze des Kegels eingedrückt hatte, dass keine weitere Senkung mehr erfolgte, so wurde der Durchmesser der eingedrückten Fläche bestimmt. Alsdann stellte man einen zweiten Kegel, der in derselben Form gegossen war, unter die Ramme und liess aus einer gewissen Höhe den Klotz darauf fallen; dadurch verwandelte sich wieder die Spitze in eine kreisförmige Fläche, man maass diese und war sie etwa kleiner als die erste, so stellte man wieder einen neuen Kegel unter die Ramme und hob den Klotz etwas höher als früher und so fort, bis zuletzt gleiche Durchmesser und sonach gleiche Wirkungen sich herausstellten. Es ist nicht zu leugnen, dass hierdurch ein Vergleich wirklich möglich wurde, aber er bezog sich gerade nur auf diese Bleikegel; hätte de Cessart statt des Bleies Kupfer, Messing oder gar Eisen gewählt, so würde er ganz andere Verhältnisse zwischen Stoss und Druck erhalten haben. Unter allen gewöhnlichen Metallen musste augenscheinlich das Blei deshalb gewählt werden, weil dieses den Effect des Druckes vergleichungsweise noch am grössten angab, aber das Resultat würde für den Druck noch vortheilhafter geworden sein, wenn gar nicht mehr ein Metall, sondern eine breiartige Masse, wie zäher Thon, benutzt worden wäre. Eine allgemeine Gültigkeit kann man sonach den aus solchen Versuchen hergeleiteten Resultaten unmöglich beilegen.

Endlich aber hat man aus den allgemeinen mechanischen Gesetzen diejenigen Resultate hergeleitet, zu denen die zuerst erwähnte Beobachtungsart geführt haben würde, wenn es möglich gewesen wäre, das Gewicht der Waage und ihre Elasticität in

allen Theilen auf Null zu reduciren; man betrachtet nämlich den Widerstand, den der Pfahl dem Stosse und dem Drucke entgegengesetzt, als ein Gewicht, das mit dem Pfahle verbunden ist, das aber durch eine der Schwere entgegengesetzte Kraft aufwärts gezogen wird, oder mit andern Worten, als ein Gewicht, das an einem Faden hängt, der am Pfahle befestigt und aufwärts über eine Rolle gezogen ist. Wenn hier wieder der Faden als absolut unelastisch, und er selbst sowohl, wie auch die Scheibe als gewichtslos und von jeder Reibung frei gedacht wird, und man noch annimmt, dass eine Sperrung angebracht ist, um das Heben des Pfahles zu verhindern, so giebt dieses Gegengewicht wieder ein deutliches Bild für den Widerstand, den der Pfahl an einer gewissen Stelle dem tiefern Eindringen durch Belastung entgegensetzt. Es wird aber unter dieser Voraussetzung jedes Gewicht, das man auf den Pfahl herabfallen lässt, denselben nebst dem Gegengewichte noch immer in Bewegung setzen und ihm eine gewisse Geschwindigkeit ertheilen, die man nach dem Gesetze des Stosses leicht finden kann, woher der Pfahl jedesmal bis zu einer gewissen Tiefe herabgestossen wird. Setzt man nun diese Tiefe derjenigen gleich, in welche der letzte Schlag des Rammklotzes den Pfahl herabtreibt, und stellt man das Gewicht des Klotzes, sowie das des Pfahles und die Fallhöhe des Klotzes, was sich Alles jedesmal ermitteln lässt, gehörig in Rechnung, so findet man hieraus auch leicht das unbekannte Gegengewicht, oder die Belastung, welche der Pfahl (mit Einschluss seines eignen Gewichtes) noch tragen kann. Dieses Verfahren ist bei uns das übliche, um die Tragfähigkeit eines Pfahles zu untersuchen, und man ändert es gemeinhin nur noch in der Art ab, dass man der Sicherheit wegen die Belastung auf den vierten oder auf einen noch viel kleineren Theil (mitunter auf den 20sten) reducirt. Es ist hierbei offenbar keine directe Vergleichung zwischen der lebendigen Kraft des Stosses und dem todten Drucke angestellt worden, sondern man hat den letzteren als den Zug eines Gewichtes angesehen und mit Berücksichtigung der Trägheitsmomente eine Relation dargestellt, welche für die vorausgesetzte Verbindung ganz passend ist und die sich durch alle Beobachtungen auch wirklich ungefähr bestätigen muss, welche man mit einem Apparate dieser Art anstellt. Wenn man dagegen das Eindringen des Pfahles in

den Erdboden betrachtet, so muss die Angemessenheit der gewählten Vorstellungsart über den Widerstand noch besonders gerechtfertigt werden; ein solches Gegengewicht, wie hier angenommen ist, findet wirklich nicht statt, vielmehr handelt es sich vorzugsweise um das Seitwärtsdrängen der Erdtheilchen, die den Pfahl umgeben. Bilden diese eine ganz lose Masse, die in jeder Richtung sich mit Leichtigkeit trennt, wie etwa ganz trockner oder ganz nasser Sand, so scheint die gemachte Voraussetzung noch am plausibelsten zu sein, obgleich sie sich auch hier keineswegs von selbst motivirt; sobald aber die umgebende Erde eine gewisse Zähigkeit besitzt und sie nicht momentan sich losreissen lässt, sondern hierzu einige Zeit erforderlich wird, so treten augenscheinlich wesentliche Verschiedenheiten gegen die gemachte Hypothese ein, und die Resultate, zu welchen man auf solchem Wege gelangt war, verlieren allen Werth; dass man ihnen wirklich kein Zutrauen schenkt, ergiebt sich schon aus der enormen Veränderung derselben, die man willkührlich einführt und wodurch die Rechnung selbst beinahe ganz zwecklos wird. Die Erfahrung bestätigt die angeregten Zweifel vollkommen, denn es fehlt nicht an Beispielen, dass Pfahlroste, die nach der gewöhnlichen Hypothese das Zehn- und Funfzehnfache des Gewichtes tragen sollten, womit sie wirklich belastet wurden, dennoch nicht den gehörigen Widerstand leisteten und niedergedrückt worden sind.

Es zeigt sich ein solches Nachgeben des Baugrundes aber häufig erst sehr spät, nachdem der Rost schon mehrere Monate, auch wohl Jahre hindurch vollständig belastet war; und dieser Umstand erinnert wieder an das langsame Herabsinken der kleineren Pfähle in den zähen Thonboden und zugleich an die sehr langsame Bewegung, welche ein dickflüssiger Körper annimmt, sobald das hydrostatische Gleichgewicht dabei gestört wird.

Ich erwähne hierbei noch, dass ich mit dem oben angedeuteten Apparate auch einige Versuche über das Eindringen und die Tragfähigkeit der kleinen Pfählchen in verschiedenen Bodenarten anstellte, ich setzte nämlich dem Thone so viel Wasser zu, dass die Pfählchen bei einer gewissen Fallhöhe des Rammklotzes eben so tief wie unter denselben Umständen im Sande eindrangen. Nunmehr brachte ich auf beiden gleiche Belastungen auf, um zu sehen, ob auch diese gleiche Wirkungen zeigen würden. Dieses

war jedoch nicht der Fall und die Wirkungen des Druckes waren vielmehr überaus verschieden; auf den Pfahl, der im Sande steckte, hatte das funfzigfache Gewicht des Klotzes keinen Einfluss, sobald es als todte Last wirkte, und dieses natürlich nicht nur in dem ersten Momente, sondern auch dauernd; der Pfahl in dem Thone senkte sich dagegen schon nach und nach ein, sobald ich nur den Rammklotz darauf ruhen liess. Es zeigt dieser Versuch deutlich, dass man die verschiedene Beschaffenheit des Bodens keineswegs unbeachtet lassen darf, sobald man die Effecte des Druckes und Stosses mit einander vergleichen will, und dass daher eine solche allgemeine Hypothese in diesem Falle, sowie auch in den meisten andern, zu keinen zuverlässigen Resultaten führt und noch weniger durch ihre Einführung alle Erfahrungen entbehrlich macht. Der Fehler lag hier aber darin, dass man zwei ganz verschiedenartige Dinge, die durch dasselbe Wort, Widerstand, bezeichnet werden, einander gleich setzte und dadurch den sehr schwierigen Weg der Beobachtung umgehen zu dürfen glaubte.

Alle angedeuteten Versuche, die Tragfähigkeit eines Grundpfahles aus seinem Eindringen während der letzten Schläge nach einer allgemein gültigen Regel zu taxiren, sind sonach als ganz verfehlt anzusehen und der Weg der Erfahrung führt bis jetzt auch noch zu keinen sichern Resultaten. Nichts desto weniger scheint es nöthig, hierüber noch Einiges mitzutheilen.

Perronet spricht seine Meinung über diesen Gegenstand in folgender Art aus: „der Rostpfahl darf nur in dem Falle als „hinreichend tief eingerammt angesehen werden, wenn er in jede „Hitze von 25 bis 30 Schlägen nur 1 bis 2 Linien eindringt und „dieses muss während mehrerer auf einander folgenden Hitzen „geschehen. Bei andern Pfählen dagegen, die weniger belastet „werden, kann man sich auch damit begnügen, dass sie in der „Hitze noch 6 Linien, auch wohl einen ganzen Zoll eindringen. „Das gewöhnliche Gewicht des Rammklotzes für Grundpfähle „beträgt 600 bis 700 Pfund, bei stärkeren und längeren Pfählen „1200 Pfund und der Klotz muss 4½ Fuss hoch gehoben werden. „Die Rostpfähle bei der Brücke zu Neuilly hatten 12 Zoll Durch„messer und sie trugen jeder 105700 Pfund, die bei der Brücke „zu Orleans 104900 Pfund. Bei der Brücke zu Tours waren

„die Pfähle, als die Pfeiler einstürzten, mit 153900 Pfund belastet.“ „Hiernach,“ fährt Perronet fort, „bin ich der Ansicht, dass man „einen Pfahl von 8 bis 9 Zoll Stärke nur mit 50000 und einen „solchen von 12 Zoll nur mit 100000 Pfund belasten darf.“

Hierbei muss aber erwähnt werden, dass bei der Brücke zu Neuilly der Boden kiesig war und die Pfähle den Tuff erreichten. Sie wurden so lange gerammt, bis sie unter dem 1000 Pfund schweren Rammklotze während 16 auf einander folgenden Hitzen, jede zu 30 Schlägen, nur immer 2 Linien zogen, oder wenn der 1384 Pfund schwere Bär angewendet wurde, mussten sie während 12 Hitzen denselben Widerstand zeigen. Was die Brücke bei Orleans betrifft, wo sich sehr bedeutende Schwierigkeiten zeigten, so wurde die Rammarbeit hier etwas früher abgebrochen, nämlich die äussern Pfähle jedes Pfeilers betrachtete man als feststehend, wenn sie bei einer Hitze von 25 Schlägen mit dem 900 Pfund schweren Klotze nur noch 1½ Linien zogen und die innern dagegen schon bei 3 Linien. Der siebente Pfeiler dieser Brücke senkte sich aber um 18 Zoll oder um eine Werksteinschicht. Endlich ist bei der Brücke bei Tours zu bemerken, dass der Grund des Einsturzes derselben, wie schon oben erwähnt worden, wohl nur darin lag, dass die Pfähle durch die umgebende Erde nicht hinreichende Haltung hatten, sie also nicht herabgedrückt wurden, sondern umfielen. Alle hier gemachten Angaben beziehen sich übrigens auf französisches Maass.

Sganzin sagt *) in Bezug auf diesen Gegenstand: „die Er„fahrung und die Praxis bei grossen Bauten haben dahin geführt, „einen Pfahl als gehörig feststehend zu betrachten, um eine „dauernde Belastung von 25000 Kilogramm (53451 preuss. Pfund) „zu tragen, wenn er bei Anwendung einer Kunstramme in der „Hitze von 10 Schlägen mit einem Rammklotze von 600 Kilogr. „(1283 preuss. Pfund) Gewicht, der 3,6 Meter (11½ preuss. Fuss) „hoch gehoben wird, nur noch 1 Centimeter (4,6 preuss. Linien) „weit eindringt, oder wenn die Zugramme angewendet wird, darf „er bei der Hitze von 30 Schlägen mit demselben Rammklotze, „der 1,2 Meter (3,7 preuss. Fuss) hoch gehoben wird, sich gleich„falls nur um 1 Centimeter senken.“

*) *Programme ou résumé des Leçons. 4. édition. I. p.* 169.

Bei einem Bau, wo die 40 Fuss langen Rostpfähle so weit eingetrieben waren, bis sie in der Hitze von 20 Schlägen mit einem 5 Fuss hoch gehobenen Rammklotze von 1650 Pfund Gewicht nur 4 Linien tief eingedrungen waren, gab sich dennoch unter einer Belastung von 43370 Pfund ein Sinken zu erkennen. Der Grund war ein lockerer doch sehr sandiger aufgeschwemmter Boden.

In Holland, wo der weiche Grund es fast nie erlaubt, den Pfählen einen so festen Stand zu geben, dass sie auf die letzte Hitze nur noch wenige Linien ziehen sollten, belastet man sie auch ganz allgemein mit viel geringeren Gewichten. Bei den Schleusenbauten am nordholländischen Canale ist der einzelne Rostpfahl etwa mit 25000 Pfund belastet und dennoch sind die Mauern in der trocknen Docke am Helder theilweise stark gesunken. Bei andern Schleusen stehen die Pfähle noch näher neben einander, so dass jeder nur 20000 und mitunter nur 11000 Pfund trägt, wie dieses nach v. Wiebeking bei der Schleuse am Penningsveer der Fall ist. Bei der sehr wichtigen Entwässerungsschleuse bei Catwijk aan Zee trägt der einzelne Pfahl 16500 Pfund, und es ist interessant, dass man bei Untersuchung des Baugrundes die Länge der Pfähle darnach bestimmte, dass der Probepfahl auf 20 Schläge mit dem 1100 Centner schweren Rammklotze noch 4 Zoll eindrang, man meinte, dass bei gleicher Tiefe die $2\frac{1}{2}$ Fuss auseinanderstehenden Pfähle einen hinreichend festen Stand annehmen würden. *) Dieser letzte Bau zeigt keine Spuren einer Senkung.

Um endlich auch ein Beispiel aus England anzuführen, so erwähne ich, dass beim Bau der Junction-Docke zu Hull, wo einzelne Pfähle mit einem Gewichte belastet sind, das bis 60000 Pfd. steigt, dieselben so lange eingerammt wurden, bis sie in 30 Schlägen von 6 Fuss Höhe, die mit dem 1300 Pfund schweren Rammklotze gegeben wurden, nicht stärker als $1\frac{1}{2}$ Zoll tief eindrangen. **)

Man ersieht hieraus, dass die Annahmen über die Tragfähigkeit und ebenso die hin und wieder gemachten Erfahrungen sehr verschieden sind, und sonach bestätigt es sich dadurch wieder,

*) Vergleiche die Beilage No. 3 zum Gutachten über das Project zur Entwässerung bei Catwijk aan Zee.

**) *Transactions of Civil Engineers. I. p.* 33.

dass man eine allgemeine Regel nicht finden und benutzen kann, sondern vielmehr muss man die Beschaffenheit des Grundes immer mit berücksichtigen und besonders vorsichtig sein, wenn derselbe viele Thontheile enthält. In diesem Falle verursacht dessen Zähigkeit einen grossen Widerstand gegen das schnelle Eindringen während des Rammens, dieser Widerstand giebt sich aber bei der nachfolgenden dauernden Belastung nicht zu erkennen und man muss also in diesem Falle bei gleichem Ziehen des Pfahles eine viel geringere Beschwerung annehmen, als bei sandigem und kiesigem Grunde.

Es stellt sich durch diese Umstände um so mehr das Erforderniss heraus, auf alle Erscheinungen, die sich beim Einrammen von Rostpfählen zu erkennen geben, recht aufmerksam zu bleiben, und es ist nöthig, diese auch gehörig zu notiren. Die Anfertigung sorgfältiger Rammregister gewährt den Nutzen, dass der leitende Baubeamte sein Verfahren rechtfertigen kann, und überdies lehrt auch die Erfahrung, dass die Aufmerksamkeit geschärft und manchen unangenehmen Folgen dadurch vorgebeugt wird, wenn bedenkliche Umstände, die sich vielleicht während des Baues schon zu erkennen geben, angezeichnet und in ihrer wahren Grösse ausgedrückt werden. Perronet theilt bei Gelegenheit der Beschreibung des Brückenbaues bei Neuilly ein Rammregister mit; jeder Pfahl war auf dem Grundrisse mit einer Nummer versehen; dieses Register enthält nun

1) den Tag, an welchem der Pfahl zum Stehen kam,
2) die Nummer des Pfahles,
3) seine Länge vor dem Einrammen,
4) seinen mittleren Umfang,
5) das Gewicht des Rammklotzes, womit er eingetrieben wurde,
6) die Anzahl der Arbeiter an der Ramme und
7) die Tiefe, zu welcher der Pfahl eingetrieben wurde.

Es möchte wohl passend sein, in einer achten Columne noch anzugeben, wie stark der Pfahl während der letzten Hitzen gezogen hatte. Wenn auf derselben Baustelle auch drei oder mehrere Rammen in Thätigkeit sind, so kann der Aufseher, wenn er jeden Pfahl vor dem Setzen und nach dem Einrammen misst und er die letzten Hitzen beobachtet, alle diese Notizen leicht sammeln und eintragen.

§. 40.

Spundpfähle.

Die Spundpfähle werden nicht wie die Spitzpfähle in einigem Abstande, sondern so nahe neben einander eingerammt, dass sie sich unmittelbar berühren, und sie sind überdies mit Federn und Nuthen oder mit einer Spundung versehen, wodurch die Fuge in den Berührungsflächen zwischen zwei Spundpfählen gebrochen wird. Sie bilden sonach eine sehr dichte Wand, die man eine Spundwand oder Kernwand nennt. Eine vollkommene Wasserdichtigkeit besitzen solche Spundwände nicht, aber wohl verhindern sie ein starkes Durchströmen des Wassers, sowie auch das Durchfallen der Erde und des Sandes, und wenn ein fester Thonschlag dagegen gebracht wird, so erhält dieser durch die Spundwand eine so feste Lage, dass er das Wasser vollständig zurückhalten kann. Der Zweck der Spundwände besteht hiernach vorzugsweise darin, alle Wasseradern, die sich in geringer Tiefe am Boden unter der Sohle der Baugrube befinden, zu unterbrechen, und dieser Zweck wird besonders insofern erfüllt, als die Spundwand ringsumher eine Compression des Grundes erzeugt, wodurch das Wasser verhindert wird, sich mit derselben Leichtigkeit, wie früher, hindurchzuziehen. Aus diesem Grunde werden sehr häufig die Spundwände nur angebracht, um während des Baues das Wasser abzuhalten. Demnächst aber hält die Spundwand auch die Erde in der Baugrube zurück, und wenn durch den fertigen Bau die von der Spundwand eingeschlossene Erde stark belastet wird, so kommt selbige früher zu derjenigen Spannung, welche den nöthigen Widerstand erzeugt, als wenn die erfolgte Compression sich gegen das umgebende Erdreich unmittelbar ausgleichen könnte. Dieser Zweck ist besonders in dem Falle wichtig, wo das Gebäude mit einer Verbreitung des Fundamentes auf einem weichen Baugrunde gestellt wird. Ferner hat die dichte Umschliessung der Baugrube bei Béton-Fundirungen noch den Zweck, die eingeschüttete Bétonmasse zurückzuhalten und sie vor der unmittelbaren und starken Berührung mit fliessendem Wasser zu schützen. Endlich aber dienen die Spundwände zuweilen auch dazu, um ein Unterspühlen des Fundamentes zu

verhindern, doch darf man in dieser Beziehung sich nicht zu viel von ihnen versprechen, indem sie eine gefährliche Stellung erhalten, wenn sie von aussen auf eine grössere Höhe entblösst sind. Es leidet nämlich alsdann theils das Holz durch die Berührung des fliessenden Wassers und theils können sie wegen des fehlenden Gegendruckes auch nicht mehr den nöthigen Widerstand dem Druck der stark comprimirten Erde unter dem Fundamente entgegensetzen.

Beim Einrammen der Spundpfähle kommt es hiernach weniger darauf an, dass sie zu einer sehr grossen Tiefe herabreichen und sie vielleicht so fest aufstehen, wie die Rostpfähle, als vielmehr, dass sie gehörig in einander greifen und keine weit geöffneten Fugen zwischen sich lassen. Um dieses zu erreichen, ist eine sehr sorgfältige und behutsame Arbeit erforderlich; der einzelne Rostpfahl erfüllt noch immer seinen Zweck vollständig, wenn er sich auch nach der einen oder der andern Seite schon stark überneigt, die Spundpfähle dürfen dagegen nicht aus der Ebene der Wand ausweichen, weil dabei unfehlbar die Federn oder die Backen zur Seite der Spundung abbrechen und dann grosse Fugen sich bilden würden. Hiernach ist ein reiner Baugrund dringend erforderlich, wo man eine Spundwand aufstellen will, und man thut wohl, sich hiervon schon vorher zu überzeugen, indem man das Sondireisen fleissig gebraucht und in der Richtung der Wand, soweit es irgend möglich ist, den Boden aufgräbt oder auch wohl durch Baggerung eine tiefe Rinne darstellt. Die Kosten, die hierdurch entstehen, machen sich reichlich durch die Erleichterung des Rammens bezahlt. Wenn man es aber beim Eintreiben der Spundpfähle erst bemerken sollte, dass etwa ein grosser Stein, den der Pfahl nicht seitwärts schieben kann, oder ein Stück Holz im Grunde liegt, so bleibt nichts übrig, als die Pfähle wieder herauszuziehen und alsdann durch Graben und Baggern und allenfalls durch Anwendung von Zangen das Hinderniss zu entfernen. Eine solche Unterbrechung und zweimalige Wiederholung derselben Arbeit ist augenscheinlich weit unangenehmer und kostbarer, als wenn man vorher den Grund genau untersucht hätte. Aber auch im reinen Baugrunde muss man für die möglichste Erleichterung der Rammarbeit sorgen, denn jeder besonders grosse Kraftaufwand setzt die Spundpfähle schon in

Gefahr und aus diesem Grunde macht man, wenn Rostpfähle oder andere Pfähle daneben eingerammt werden sollen, jedesmal mit dem Rammen der Spundwand den Anfang.

Die Spundpfähle können, so lange sie noch nicht tief im Grunde stecken, sich leicht seitwärts neigen, sie bedürfen daher gerade in dieser Zeit gegenseitig die stärkste Haltung durch die Federn und Nuthen, man rammt sie deshalb nie einzeln zur ganzen Tiefe ein, sondern es werden zwanzig bis dreissig Stück auf einmal gesetzt und mit häufiger Verstellung der Ramme möglichst gleichmässig eingetrieben, ja es geschieht nicht selten, dass man Rammklötze von verschiedenem Gewichte anwendet und Anfangs nur sanfte Schläge giebt, während später die schwerere Ramme darüber kommt und die Pfähle zur vollen Tiefe herabtreibt. Bei einer grossen Ausdehnung der Spundwände verursacht diese Anordnung keine merkliche Vermehrung der Kosten und sie trägt sogar wesentlich zur Beschleunigung der Arbeit bei; man stellt nämlich mehrere Rammen auf, von denen eine der andern folgt und versieht diese mit Rammklötzen von verschiedenem Gewichte. Beim Bau der Brücke zu Moulins benutzte Régemortes vier dergleichen Rammen, von denen eine nach der andern jeden Pfahl der Spundwand eintrieb; die erste hatte einen Klotz von 300 Pfund Gewicht, die zweite von 500, die dritte von 700 und die vierte endlich von 1500 Pfund. Durch ein solches gleichmässiges Bearbeiten von einer ganzen Reihe von Spundpfählen verhindert man es am sichersten, dass sich nicht zwischen je zweien eine zu starke Spannung bildet; indem nämlich die benachbarten Pfähle abwechselnd in Bewegung gesetzt werden, so gleicht sich eine entstehende Pressung zwischen Feder und Nuthe leicht wieder aus und die ganze Spannung verbreitet sich gleichmässig über alle Pfähle. Es muss hier noch bemerkt werden, dass der Gebrauch der gewöhnlichen Scheerramme bei den Spundwänden die Schwierigkeit macht, dass man die beiden Scheeren nicht auf einer Seite halten kann, wenn man den Klotz in der Mitte seiner Basis aufschlagen lassen will. Dieses wird jedoch möglich, indem man die Arme des Rammklotzes etwas rückwärts versetzt und vier derselben an die innere Fläche des Klotzes bringt, wodurch kein wesentlicher Uebelstand erzeugt wird.

Die Spundpfähle können wie die Spitzpfähle aus den meisten

Holzarten bestehen, doch ist es bei ihnen noch viel wichtiger, dass sie recht gerade faserig sind, indem sonst die Federn und die Backen der Nuthen zu leicht ausspringen. Aus diesem Grunde pflegt man gemeinhin Kiefernholz zu wählen. Die Länge der einzelnen Spundpfähle muss natürlich der Höhe der Spundwand gleichkommen, und es ist hierbei zu erinnern, dass man die Spundwände gewöhnlich nicht über dem kleinsten Wasser vortreten lässt, doch weicht man davon besonders in neuerer Zeit insofern oft ab, als man von ihrer grössern Höhe während des Baues noch den Vortheil zieht, dass man dahinter einen Lehmschlag anbringt und dadurch einen sehr sichern Fangedamm darstellt. Die Tiefe, zu der man die Spundwand herabreichen lässt, richtet sich wieder nach der Beschaffenheit des Grundes, jedenfalls ist sie aber geringer, als die der Rostpfähle; durchschnittlich mag sie kaum die Hälfte derselben betragen. Es ist gemeinhin auch nicht möglich, ihr eine grössere Tiefe zu geben, denn die Spundpfähle, die sich gegenseitig klemmen, erfahren schon in diesem Falle einen so starken Widerstand, dass sie nicht ohne Gefahr noch weiter getrieben werden könnten. Insofern aber in der grösseren Tiefe unter dem Boden auch ein Durchziehen von Wasseradern immer unwahrscheinlicher wird, so ist es gemeinhin auch aus diesem Grunde nicht nöthig, die Pfähle besonders lang zu machen. Man giebt ihnen nur in dem Falle eine grosse Tiefe, wo die Gefahr eintritt, dass eine starke Auskolkung davor sich erzeugen möchte, denn jedenfalls darf ihr Fuss durch diese nie erreicht werden und sie müssen sogar, wenn sie ihren Zweck erfüllen sollen, noch immer die nöthige Haltung im festen Boden finden. Wo aber ein starkes Auskolken zu besorgen steht, da ist es, wie bereits erwähnt, schon an sich bedenklich, die Spundwand dem Angriffe des Wassers und dem einseitigen Drucke des Bodens bloszustellen, und man thut daher wohl, sie auf der äussern Seite noch durch solide Anschüttungen zu sichern.

Die Stärke der Spundpfähle ist theils von ihrer Länge und theils von der Festigkeit des Bodens abhängig; sie bleibt indessen wohl immer in den Grenzen zwischen 4 und 10 Zoll; wollte man Bohlen anwenden, die schwächer als 4 Zoll sind, so kann man die Spundung darin nicht mehr anbringen, und wenn die Spundpfähle eine grössere Stärke als 10 Zoll erhalten, so pflegt man

die Spundung auch fortzulassen und es bildet sich alsdann nur eine dichte Pfahlwand. In der Regel erhalten die sämmtlichen Spundpfähle in einer Wand die gleiche Stärke; eine Ausnahme hiervon macht nur die in Fig. 149 dargestellte Anordnung, wonach einzelne starke Pfähle, die sogenannten Nuthpfähle, die auf beiden Seiten mit Nuthen versehen sind, die zwischenliegenden schwächeren Theile der Spundwand unterbrechen. Diese Nuthpfähle geben jedenfalls der ganzen Wand eine grosse Festigkeit und vermehren ihren Widerstand, und man erreicht dabei noch den Vortheil, dass sie gleichzeitig als Rostpfähle benutzt werden können; aber dagegen muss man hierbei auf das so vortheilhafte gleichzeitige Einrammen von grösseren Theilen der Wand verzichten, und da es fast unmöglich ist, die stärkeren Pfähle, die einzeln und ganz unabhängig von einander gesetzt werden, genau parallel zu stellen, so kann man hierbei nicht mehr darauf rechnen, einen so genauen Schluss hervorzubringen, wie es im andern Falle möglich war, es können vielmehr hier viel leichter weit geöffnete Fugen oder Brüche in den Federn und Backen eintreten, die man natürlich von oben gar nicht bemerkt.

Was die Art der Spundung oder den Querschnitt der Federn und Nuthen anbetrifft, so muss man von allen complicirten Formen abstrahiren, wodurch man vielleicht ein recht inniges Eingreifen erzwingen will, denn bei den starken Schlägen der Ramme ist es zu besorgen, dass die Federn gerade in diesem Falle am leichtesten abbrechen und alsdann ist die Fuge weit geöffnet. Ganz ohne Beispiel sind solche Verbindungen nicht. Fig. 201 zeigt die Spundung, welche Thunberg bei den Fangedämmen bei Carlscrona anwendete *), und Fig. 202 diejenige Spundung, die ich den Spundpfählen eines Sieles am rechtseitigen dänischen Ufer der Elbe ohnfern Glückstadt geben sah. Im letzteren Falle wurde eine Feder, deren Querschnitt einen doppelten Schwalbenschwanz bildete, zwischen zwei Nuthpfähle eingerammt, wie dieses auch in der Figur angedeutet ist. Am häufigsten kommt die in Fig. 203 dargestellte quadratische Spundung vor; es bildet nämlich die Feder im Querschnitte ein Quadrat und man

*) *Essais de bâtir sous l'eau mis en oeuvre par M. Thunberg, publiés par Fellers.* Stockholm 1774.

giebt demselben gemeinhin den dritten Theil von der Stärke des Pfahles zur Seite. Diese Feder lässt sich indessen bei den schwächeren Spundpfählen oder den sogenannten Spundbohlen nicht mehr mit Sicherheit anwenden, indem ein Abbrechen bei einiger Klemmung zu leicht erfolgen kann, und aus diesem Grunde schmiegt man die Seiten der Feder, wie Fig. 204 zeigt; man nennt dieses die Keilspundung und sie wird häufig auch so gebildet, dass der Querschnitt der Feder sich in ein gleichseitiges Dreieck verwandelt, dessen Seite der halben Stärke des Spundpfahles gleich ist. Es scheint indessen nicht vortheilhaft, dass man die vordere Seite der Feder in eine scharfe Kante auslaufen lässt. Man hat zuweilen die Gewohnheit, die Federn und Nuthen nur mit der Queraxt auszuhauen, dieses Verfahren ist indessen nicht zweckmässig und die Spundung muss wenigstens mit einem passend gestellten Hobel nachgezogen und die Profile regelmässig dargestellt werden, weil sonst bei dem erforderlichen scharfen Schlusse die Reibung leicht zu gross werden könnte.

Die Spundpfähle werden gemeinhin, wie Fig. 205 zeigt, nur an den beiden breiten Seiten zugeschärft, wodurch sich unter der ganzen Spundwand eine fortlaufende Schneide bildet; man pflegt dieselbe indessen nicht an den einzelnen Pfählen abzuschnüren und anzuhauen, sondern man legt vielmehr die bereits mit Federn und Nuthen versehenen Pfähle, so viele derselben mit einem Male versetzt werden sollen, zusammen und versieht sie gemeinschaftlich mit der erwähnten Schneide. Man vermeidet es dadurch, dass nicht vielleicht einzelne Pfähle, indem bei ihnen die Zuschärfung etwas mehr nach einer Seite geneigt ist, beim Einrammen die Tendenz zeigen, seitwärts in dieser Richtung auszuweichen. Häufig schneidet man an den Spitzen der Pfähle auch auf den schmalen Seiten die Ecken ab, so dass zwar unter jedem einzelnen Pfahle noch eine Schneide bleibt, aber zwischen je zwei dieser Schneiden ein freier Zwischenraum von dreiseitiger Form sich bildet. Dieses Verfahren kommt in England ziemlich häufig vor, wie dieses auch Fig. 209 zeigt. Régemortes versah die Spundpfähle mit vollständigen Spitzen, die in beiden Richtungen wie die Spitzen der andern Pfähle zugeschärft waren. Sodann pflegt man zuweilen auch die Spundpfähle nur an einer von den beiden scharfen Seiten zuzuschärfen und zwar an der, wo die Nuthe sich befindet, weil

die beiden Backen zur Seite derselben beim Eindringen in den Grund besonders leicht beschädigt werden. Fig. 206 zeigt diese Anordnung und man erreicht dabei noch den Vortheil, dass, wenn jeder Spundpfahl mit der Seite, wo die Feder befindlich ist, an den bereits gesetzten gelehnt wird, die letzterwähnte Zuschärfung der Spitze, die nur an der hintern Seite stattfindet, den Pfahl mit seinem untern Ende nach dem fertigen Theile der Wand herüberdrängt und dadurch ein besonders guter Schluss hervorgebracht wird. Ich habe in Holland mehrmals in dieser Art die Spundpfähle zurichten sehen; man ist indessen im Allgemeinen gegen alle diese Zuschärfungen an der schmalen Seite der Pfähle sehr misstrauisch, indem die zwischen zweien derselben gebildeten Zwischenräume leicht Veranlassung geben können, die Pfähle auseinanderzutreiben. Wenn z. B. ein Ast im Grunde liegt und nach der Quere der Spundwand gerichtet ist, so wird derselbe, wenn er von der horizontalen Schneide getroffen wird, entweder durchstossen oder herabgedrückt werden, geräth er dagegen in einen solchen Zwischenraum und werden die Pfähle zu beiden Seiten abwechselnd tiefer gerammt, wie dieses gewöhnlich geschieht, so wirkt er wie ein Keil auf die beiden gegen einander geneigten Flächen und er hat gewiss die Tendenz, die Pfähle zu trennen.

Um nun einer solchen Wirkung vorzubeugen und gleichzeitig den Vortheil einer Zuschärfung in der erwähnten Richtung zu erreichen, so hat man zwei verschiedene Mittel angewendet, nämlich einmal hat man ausser der ersten Schneide, die nach der Länge der Wand gerichtet ist, an jedem Pfahl noch eine zweite Schneide nach der Quere angebracht, die auf der äussern Seite von einer senkrechten und auf der innern Seite von der beabsichtigten schrägen Fläche begrenzt ist. Fig. 207 zeigt das untere Ende eines auf diese Art zugeschärften Pfahles. Demnächst aber hat man nach Fig. 208 die gewöhnliche Schneide nicht ganz horizontal gehalten, sondern sie ein wenig geneigt. Die letzte Form ist mehrfach in den von Telford ausgeführten Bauten in Anwendung gekommen und sie hat vor jenen ersten gewiss den Vorzug einer viel grösseren Einfachheit.

Man versieht zuweilen auch die Spundpfähle mit **Pfahlschuhen**, und wenn man im Allgemeinen da, wo eine Spundwand eingerammt werden soll, auch immer einen ziemlich reinen

Grund voraussetzen muss, in welchem daher eine solche Vorsicht minder nöthig erscheinen möchte, so ist andererseits die hier vorkommende Schneide offenbar auch weit leichter einer Beschädigung unterworfen, als die Spitze des Rostpfahles es war. Der Pfahlschuh besteht häufig nur in einem um die Schneide umgebogenen Bleche, welches aufgenagelt wird, zuweilen aber wird ein solcher ganz entsprechend den oben beschriebenen Pfahlschuhen für die Spitzpfähle ausgeschmiedet; Fig. 209 zeigt denjenigen Pfahlschuh, der für die dichte Pfahlwand (die jedoch keine Spundung hatte) am Fangedamme vor der St. Katharine's Docke zu London angewendet wurde. *)

Zu den Spundpfählen wird kein trocknes, sondern recht frisches Holz, oder doch solches angewendet, welches im Wasser gelegen hat, und nachdem die Spundpfähle angefertigt sind, so müssen sie bald eingerammt oder wenigstens vor einem starken Austrocknen gesichert werden. Der Grund, weshalb man sie nicht trocken werden lassen darf, liegt theils darin, dass sie sich in diesem Falle leicht werfen und dann auch, dass sie beim Setzen zu quellen anfangen. Man könnte freilich glauben, dass sich ihnen noch ein besonders dichter Schluss geben liesse, wenn man sie trocken in den Boden brächte, es wird alsdann aber die Arbeit gar zu schwierig und eben deshalb ist ein Brechen der Federn um so mehr zu besorgen; die Federn können natürlich auch nur so lange die einzelnen Pfähle gehörig zusammenhalten, als dieselben willig folgen. Man bemerkt übrigens beim Einrammen von ziemlich trocknen Spundpfählen auch noch den andern Uebelstand, dass die ganze Wand sich stark zu werfen anfängt und dabei selbst die Zwingen seitwärts drängt. Man darf es nicht vergessen, dass die Spundwand an sich einen vollkommen wasserdichten Schluss nie darstellt und dass sie ihren Zweck ganz genügend erfüllt, wenn überall nur die Federn in die Nuthen greifen; jede Feder tritt aber mindestens etwa 2 Zoll weit vor, es könnte also jeder einzelne Pfahl schon sehr merklich sich vom nebenstehenden entfernen, ohne dass man befürchten dürfte, die Feder möchte aus der Nuthe herauskommen. Aus diesem Grunde erscheint es ganz zwecklos, die Pfähle durch eine schräge Zu-

*) *Civil Engineer and Architect's Journal. II. p.* 234.

schärfung ihres Fusses recht fest gegen einander zu treiben, oder dieses durch spätere einzurammende keilförmige Zwischenpfähle zu thun, oder auch wohl dadurch, dass man ein starkes Quellen des Holzes eintreten lassen will. Da man jedoch auf ein geringes Quellen immer gefasst sein muss, so wäre es wohl passend, dass jeder Pfahl mit der Seite, wo die Nuthe sich befindet, an den später zu setzenden Pfahl sich anschliesst; quillt der erste Pfahl nämlich hier etwas auf, so findet die Feder einen um so grösseren Spielraum; im entgegengesetzten Falle würde aber die Feder so stark werden, dass sie in die Nuthe im trocknen Holze gar nicht willig sich einbringen lässt.

Das Einrammen der Spundpfähle wird schon vielfach durch andere Umstände erschwert und immer mit der Gefahr verbunden, dass unter den Schlägen des Rammklotzes eine Trennung irgendwo erfolgt, die man gemeinhin von oben aus gar nicht bemerken kann. Um einer solchen vorzubeugen, giebt es kein sicheres Mittel und man kann sich nur darauf beschränken, Alles zu vermeiden, was den Widerstand und die Klemmung noch vermehren möchte; dazu gehört aber namentlich, dass die Nuthe in allen Richtungen etwas Spielraum hat und dass die einzelnen Pfähle nicht zu dicht gesetzt werden, wodurch ihre gegenseitige Reibung vergrössert wird. Wenn sie vorsichtig bearbeitet, eingestellt und abwechselnd eingerammt werden, so pflegen sie den ihnen gegebenen Abstand auch beim tieferen Eindringen beizubehalten, und wie sich ein Pfahl dem andern zu sehr nähert, so verursacht der stärkere Druck von dieser Seite, dass bei dem fortgesetzten Rammen die Pfähle wieder einen etwas grösseren Spielraum zwischen sich von selbst darstellen. Wenigstens wird man bei reinem Baugrunde hierauf immer rechnen können. Damit ferner die einzelnen Pfähle nicht aus der Ebene der Wand ausweichen, wobei immer die Federn oder Backen brechen, so ist es erforderlich, dass jede Feder gleich Anfangs beinahe in ihrer ganzen Länge in die Nuthe eingebracht wird und hierin auch immer bleibt; dieser Umstand macht es aber zur Bedingung, dass die sämmtlichen Pfähle möglichst gleichmässig eingerammt werden. Wie wichtig dieses ist, ergiebt sich, wenn man die Annahme macht, dass ein Spundpfahl bereits zur ganzen Tiefe eingerammt ist, während der folgende erst gesetzt wird; in diesem Falle würde

offenbar die Feder des letzteren nur auf diejenige Tiefe, soweit der Pfahl von selbst in den Grund eindringt, in die Nuthe des schon stehenden Pfahles geschoben werden können, und es folgt daraus, dass bei einer gleichen Tendenz zum Ausweichen die Feder in der kürzeren Länge, womit sie eingreift, auch nur einen weit geringeren Widerstand dem Bruche entgegensetzen kann. Die Tendenz zum Ausweichen wird aber auch an sich bedeutender sein, da wegen des nöthigen Spielraumes sich schon eine grössere Verschiedenheit der Neigung in beiden Pfählen bilden kann, die beim weiteren Einrammen des letzten einen Bruch der Backe oder der Feder zur unvermeidlichen Folge hat. Ob dieser eingetreten ist oder nicht, kann man während des Baues nicht bemerken. Man darf freilich nicht besorgen, dass eine geöffnete Fuge gleich den ganzen Zweck der Spundwand vereiteln oder gar den Ruin des Gebäudes jedesmal veranlassen wird; wenn dieses der Fall wäre, so möchten die Unfälle viel häufiger sein, als sie es wirklich sind. Nichts desto weniger wird man doch alle mögliche Sorgfalt anwenden müssen, einem solchen vorzubeugen, und man vermeidet ihn am sichersten, wenn man alle Spundpfähle so frei setzt, dass sie sich nicht klemmen und dass ein Quellen dabei auch nicht eintritt, ferner aber auch, dass jede zwei benachbarten Pfähle möglichst gleichzeitig eingerammt werden; alsdann greifen die Federn immer in der vollen Länge ein, sie leisten den kräftigsten Widerstand und wo eine Tendenz zum Ausweichen entsteht, da wird diese durch die abwechselnde Bewegung des einen und des andern Pfahles noch am leichtesten beseitigt. Es ergiebt sich hieraus, dass die Benutzung von einzelnen längeren und stärkeren Nuthpfählen nicht passend ist, ebensowenig die nach einer Seite gerichtete Abschrägung am Fusse des Spundpfahles, und besonders wäre es höchst gefährlich, wenn man die Spundwand an einzelnen Stellen unterbrechen und hier später keilförmig verjüngte Pfähle hineinrammen wollte, um einen recht festen Schluss zu erzeugen. Dieses Verfahren ist schon insofern nicht zu billigen, als man dadurch nur eben in der Oberfläche den Schluss darstellen kann, während die geringere Breite des Pfahles in der Tiefe einen solchen unmöglich macht; man darf aber auch nicht hoffen, eine bereits eingerammte Spundwand noch stark seitwärts zu drängen und etwa auf jeder Seite mehrere Pfähle durch den eingetriebenen

keilförmigen Pfahl zusammenzubringen. Der übelste Umstand ist hierbei aber der, dass die beiden Theile der Spundwand ganz unabhängig von einander eingerammt sind und man gar nicht voraussetzen darf, dass ihre Endpfähle parallel stehen, es kann leicht der eine mit seinem Fusse bedeutend vor die Ebene der Wand vortreten, während der andere dahinter zurückbleibt; schlägt man alsdann den Verbindungspfahl dazwischen ein, so ist ein Ausbrechen der Federn oder Backen ganz unvermeidlich.

Um nun eine Spundwand in der gehörigen Richtung und recht regelmässig einzurammen, so ist es nothwendig, den einzelnen Pfählen die gehörige Haltung zu verschaffen, dieses geschieht am sichersten, indem man feste Zwingen oder Lehren dicht über dem Boden oder dem Wasserspiegel anbringt; es sind dieses zwei nebeneinanderliegende Balken, die entweder unmittelbar auf Pfählen verzapft oder auf andere Art befestigt sind, die aber zwischen sich einen Zwischenraum frei lassen, der mit der Stärke der Spundwand nahe übereinkommt und nur etwas Spielraum lässt. Hierdurch wird die Spundwand sehr sicher gehalten, aber die Anlage einer solchen Zwinge ist auch sehr umständlich und kostbar, indem dazu gemeinhin besondere Pfähle eingerammt werden müssen. Régemortes benutzte hierzu dieselbe Rüstung, die auch zu den andern Fundirungsarbeiten für den Brückenbau gebraucht wurde. Diese Rüstung bestand nämlich in verholmten Pfahlreihen, welche die Richtung der Spundwände kreuzten. Diese Holme wurden an der passenden Stelle durchschnitten und Rahmstücke über ihre Enden von beiden Seiten gebolzt, wodurch die feste Zwinge sich bildete. Zuweilen rammt man die Rostpfähle der vordern Pfahlreihe schon früher als die Spundwand ein, und die über selbige treffende Rostschwelle kann sonach gleich als eine Hälfte der Zwinge benutzt werden, woher man nur noch auf der andern Seite für eine ähnliche zu sorgen braucht. Dieses Verfahren ist in Frankreich ganz üblich, und wenn man die Spundwand auf die innere Seite der äusseren Pfahlreihe bringt, so kann man wohl gegen die zweite Pfahlreihe die zweite Hälfte der Zwinge befestigen und sonach das Einrammen von besonderen Pfählen für die Zwingen ganz vermeiden. Es dürfte indessen zur Darstellung einer möglichst regelmässigen Spundwand geeigneter sein, die Rüstpfähle, welche die Zwinge tragen, nicht

zu nahe an die Spundwand zu stellen, noch auch sie besonders tief und sehr nahe neben einander einzurammen, weil hierdurch immer der Boden neben der Spundwand stark comprimirt wird. Wendet man starkes Balkenholz zu den Zwingen an, so wird eine Unterstützung derselben in 8 bis 12 Fuss Abstand vollkommen ausreichen und man hat gewöhnlich noch Gelegenheit, durch Anbringung von Absteifung, wo eine solche gerade nöthig sein sollte, ein Herausdrängen der Zwingen nach der Seite zu verhindern. Ausserdem aber kann man auch immer eine sehr sichere Stellung für die Zwingen hervorbringen, wenn man in gewissen Entfernungen durch beide und durch die Spundwand Schraubenbolzen hindurchzieht. Diese dürfen indessen natürlich nicht durch diejenigen Pfähle reichen, die man gerade einrammt, und sonach muss man sie bald hier und bald dort anbringen, wodurch leicht eine grosse Menge von Bolzenlöchern in die Wand kommt; einen grossen Uebelstand darf man hiervon wohl keineswegs besorgen, und es ist sogar bei einiger Aufmerksamkeit auch immer möglich, sobald beim weitern Eindringen des Pfahles das Bolzenloch unter die Zwinge tritt, dasselbe durch einen kurzen Pflock wieder zu schliessen. Die angedeutete Vorrichtung ist Fig. 210 *a* und *b* in der Ansicht von der Seite und im Querschnitte dargestellt. Dieselbe Figur zeigt auch, in welcher Art die Spundpfähle gesetzt werden; man stellt sie nämlich sehr schräge in die Zwinge ein und richtet sie alsdann auf, wodurch sie sich nahe genug an die bereits stehenden herandrängen; in dieser Stellung hält man sie vorläufig durch eingeschlagene Klammern, sobald aber die ganze Anzahl von Pfählen, die man auf einmal setzen will, eingebracht ist, so zieht man in der Entfernung von einigen Zollen hinter den letzteren einen starken Schraubenbolzen durch die Zwinge und schlägt hier, jedoch keineswegs besonders fest, einen passend geformten Holzkeil vor, der mit einer recht breiten Fläche sich gegen den letzten Spundpfahl lehnt, worauf jene eisernen Klammern herausgenommen werden. Indem aber die feste Zwinge, von der bisher allein die Rede war, ziemlich tief angebracht zu sein pflegt, so muss man befürchten, dass die sämmtlichen frisch gesetzten Pfähle sich unten stark zusammendrängen und oben von einander entfernen. Dieses verhütet man am sichersten durch die losen Zwingen, die häufig gleichzeitig mit den festen benutzt

werden, wie dieses z. B. durch Régemortes geschah, oft aber vertreten die letzten auch allein die Stelle der erstern.

Beim Einrammen der Spundpfähle muss man ferner sehr aufmerksam sein, dass die erwähnten Keile immer in der gehörigen Spannung bleiben; sie springen oft schon nach den ersten Schlägen heraus, welche die letzten Pfähle treffen, und da sie immer von oben eingetrieben werden, so geschieht es noch häufiger, dass sie sich bald stark klemmen. Sie berühren indessen immer nur auf eine kurze Länge die Backen des letzten Spundpfahles und sonach können sie diese auch leicht beschädigen; man muss sie daher nach kurzen Zwischenzeiten und etwa beim jedesmaligen Verstellen der Ramme untersuchen und nach Umständen entweder losschlagen oder fester treiben. Am besten ist es aber, den zuletzt gesetzten Spundpfahl noch gar nicht einzurammen, sondern ihn erst mit den folgenden Pfählen zugleich herabzutreiben. Fig. 211 zeigt die von v. Wiebeking empfohlene feste Zwinge, wobei die schräge eingerammten Pfähle offenbar viel weniger auf die starke Compression des Erdreichs hinwirken und überdies einen stärkeren Widerstand dem Seitendrucke entgegensetzen; es möchte diese Anordnung immer zu empfehlen sein, wo man besondere Pfähle zur Unterstützung der Zwinge einrammt und man eine Ramme benutzt, die schräge wirken kann.

Was die losen Zwingen betrifft, so sind dieselben im Wesentlichen den festen gleich; Fig. 212 zeigt ihre Anwendung. Sie unterscheiden sich von jenen durch die geringere Holzstärke (häufig sind es nur starke Bohlen) und sodann auch dadurch, dass sie allein gegen die Spundwand und nicht mehr gegen andere Pfähle befestigt werden; dieser Umstand ist indessen, wenn man sonst noch die nöthige Vorsicht beobachtet und sogleich eine Absteifung anbringt, wie die Wand aus dem Lothe ausweicht, nicht merklich störend, denn die losen Zwingen werden natürlich immer an denjenigen Pfählen befestigt, die man gerade nicht einrammt. Ein Verstellen der Zwingen wiederholt sich hierbei aber noch häufiger, als im ersten Falle, und eine Menge von Bolzenlöchern muss dabei durch die Wand gebohrt werden. Man kann aber diese Löcher nach dem jedesmaligen Abnehmen der Zwinge sogleich mit hölzernen Nägeln schliessen und letztere von beiden Seiten abhauen, wodurch sie in keiner Beziehung mehr

nachtheilig sind. Es ist noch zu bemerken, dass das Durchziehen von Schraubenbolzen bei der losen Zwinge gar nicht zu vermeiden ist, wenn man nicht etwa die auf einmal gesetzten Pfähle ganz für sich behandeln und dadurch einen guten Anschluss gegen den früher eingerammten Theil der Spundwand unmöglich machen wollte.

Sind die Spundpfähle schon zu einer grossen Tiefe eingedrungen, so dass sie fest im Boden stecken, so kann man alle Zwingen entbehren, aber es ist dennoch immer nothwendig, sie nicht zu lange einzeln einzurammen, sondern noch recht häufig die Ramme darüber zu verfahren. Will man endlich die Spundwand mit einem Fachbaume versehen, so wird an alle Pfähle ein durchlaufender Zapfen angeschnitten, der in das Zapfenloch des Fachbaumes passt, welches sich in diesem Falle in eine Rinne verwandelt, man pflegt aber von einzelnen Pfählen die Zapfen durch die ganze Höhe des Fachbaumes hindurchgreifen zu lassen, so dass sie von oben aus verkeilt werden können, wodurch die Verbindung besonders fest wird. Es ist aber schon früher erwähnt worden, dass die Spundwand, wenn sie nicht sehr stark ist, allein nicht genügt, um den Fachbaum zu unterstützen, vielmehr werden noch Spitzpfähle an einer Seite eingerammt, die ihn mit Blattzapfen umfassen und sicher halten. Die schwächeren Spundwände pflegt man nicht mit Fachbäumen zu versehen, sondern sie gegen Rostschwellen zu nageln, oder sie auch durch Zangen zu umfassen, die mit Schraubenbolzen verbunden sind.

Man lässt zuweilen und zwar vorzugsweise bei starken Pfählen die Spundung fort und rammt die Pfähle nur möglichst nahe neben einander ein; besonders geschieht dieses in England, wo die grösseren Fangedämme fast immer auf solche Art dargestellt werden. Der Grund, weshalb man die Spundung dabei nicht anwendet, liegt eines Theils darin, dass man den Holzverlust vermeiden will; ein 10zölliger Balken, den man als Spundpfahl bearbeitet, vermehrt die Länge der Wand nur um 7 bis 8 Zoll, während er ohne die Spundung auf seine volle Breite oder auf 10 Zoll Wandfläche darstellt. Es kommt aber noch dazu, dass durch die Spundung das Holz sehr ausgeschnitten wird, so dass es später, wenn man es wieder als Balkenholz benutzen will und man die Federn und die Backen der Nuthen

abhaut, kaum noch die Hälfte des früheren Querschnittes hat. Zu diesen Gründen möchte auch wohl noch der kommen, dass, je tiefer man eine Spundwand einrammt und je unreiner der Grund ist (wodurch eben die Anwendung von recht starken Spundpfählen bedingt wird), um so grösser auch die Gefahr des Abspringens der Federn oder der Backen wird, weshalb man alsdann lieber beide ganz fortlässt.

Eine andere Modification der Spundwände sind die sogenannten Stülpwände, welche für geringe Tiefen sehr sicher die Stelle der ersteren vertreten und sich durch Wohlfeilheit und Leichtigkeit in der Ausführung sehr empfehlen. Fig. 213 *a* und *b* auf Taf. XVIII zeigt im Grundrisse und im Querschnitte diese Wand. Es werden in ihrer äussern Fläche und zwar im lichten Abstande von 4 bis 6 Zoll Brettstücken von der passenden Länge mit der Handramme eingestossen; die Stärke der Bretter beträgt nach Umständen 1½ bis 2 Zoll und sie erhalten, wie die Spundpfähle, eine scharfe Schneide, welche in die Mittellinie des Brettes fällt. Um sie recht regelmässig einzustossen, muss man aus einem schwachen Bauholze oder einem Stücke Halbholz vorher eine Lehre gebildet haben, die auch späterhin als äusserer Theil der Zange dienen kann, welche die Wand hält. Hierauf wird eine zweite Reihe Brettstücken hinter der ersten und zwar so eingestossen, dass diese die offenen Zwischenräume deckt, und es ist dabei nur zu bemerken, dass die hintern Bretter ihre scharfen Schneiden nicht mehr in der Mittellinie, sondern in derjenigen Fläche haben, womit sie die äussern Bretter berühren.

Zuweilen ändert man die Spundwände auch in der Art ab, wie Fig. 214 *a*, *b* und *c* zeigt; es werden nämlich Nuthpfähle in Abständen von 4 bis 6 Fuss von einander eingerammt und die mit der Spundung versehenen Bohlen nicht vertical zwischen dieselben gestellt, sondern vielmehr horizontal herabgeschoben. Es ist natürlich, dass eine solche Wand sich nur so weit abwärts fortsetzen lässt, als der Boden gerade aufgegraben oder ausgebaggert ist, und die eigentlichen Zwecke der Spundwand gehen sonach dabei verloren, nichts desto weniger kann auch diese Anordnung in manchen Fällen, wie z. B. bei der Umschliessung einer Baugrube, behufs Versenkung des Betonbettes und bei Fangedämmen noch räthlich sein; sie gewährt den Vortheil, dass

die Rammarbeit eine viel geringere Ausdehnung erhält und man kann dabei noch ziemlich sicher mehrere Fuss unter das Wasser herabgehen, indem die Bohlen von oben eingesetzt und nach und nach mit der Handramme recht gleichmässig herabgetrieben werden, doch ist es dabei nothwendig, dass die Nuthpfähle sehr regelmässig gestellt sind. Beim Bau der Eingangsschleuse aus dem Rheine nach dem Ill-Canale bei Strassburg hatte man auf solche Art die Umschliessung der vorher regelmässig ausgebaggerten Baugrube dargestellt, worin der Béton später versenkt werden sollte, und auch in andern Fällen sind solche Wände zu ähnlichem Zwecke benutzt worden. Besonders ist dieses aber in Frankreich geschehen.

Die Anwendung gusseiserner Spundpfähle ist in neuerer Zeit in England nicht ungewöhnlich; besonders hat man sie benutzt, wenn die Spundwand nicht sowohl eine Unterspühlung des Grundes verhindern, als vielmehr nur während des Baues einen starken Wasserzudrang abhalten soll. In diesem Falle werden die Spundpfähle, sobald der Grundbau beendigt ist, wieder herausgezogen, und insofern das Gusseisen von allen Quellen frei ist und seine Oberfläche nicht in der Art angegriffen wird, wie die des Holzes, so ist das Einrammen und das Wiederausziehen viel leichter, und wenn nicht vielleicht zufällig ein Pfahl zerschlagen wird, so sind solche Spundpfähle auch keiner Abnutzung unterworfen; alle diese Umstände empfehlen sie besonders in einem Lande, wo der Preis des Holzes sehr hoch steht und das Gusseisen dagegen verhältnissmässig wohlfeil ist.

Schon beim Bau der George's Docke in Liverpool wendete Hartly im Jahre 1825 dergleichen gusseiserne Spundwände statt der Fangedämme an *); sobald nämlich auf etwa 30 Fuss Länge die Rostpfähle eingerammt waren, so wurde ein viereckiger Rahmen von dieser Länge zwischen die Pfähle gelegt und zwar so, dass er sie von aussen umgab; um aber ein Einbiegen desselben zu verhindern, so wurden zugleich die beiden langen Seiten des Rahmens durch zwei Riegel gegen einander abgesteift. Alsdann setzte man die Spundpfähle von aussen gegen den Rahmen und rammte sie ein. Sie hatten eine Länge von 10 Fuss und sie

*) Strickland, *Reports on Canals, Railways, Roads etc.*

bestanden, etwa den Stülpwänden ähnlich, aus zwei verschiedenen Arten von gusseisernen Platten oder Bohlen, die gegenseitig ihre Fugen deckten. Diejenigen Platten, welche sich gegen den Rahmen lehnten und den Haupttheil der Wand bildeten, hatten eine Breite von 14 Zoll, und sie waren so nahe neben einander eingerammt, dass sie sich fast berührten. Jede derselben war mit einem starken Kopfe versehen, um den Schlag des Rammklotzes aufzunehmen und von diesem ging eine Verstärkungsrippe von 2½ Zoll Höhe in die Mittellinie des Pfahles herab. An den Seiten waren gleich beim Guss umgebogene Ränder dargestellt, und die Falze, welche auf solche Art sich bildeten, griffen wieder die umgebogenen Ränder der Verbindungsbohlen ein. Letztere bedurften bei der geringen Breite von nur 8 Zoll keiner Verstärkungsrippen, da schon die Falze an den Seiten sehr sicher deren Stelle vertraten, doch hatten auch diese wieder die Verstärkung am Kopfe. Endlich waren an beiden Arten von Bohlen noch Löcher angebracht, durch welche Haken gesteckt werden konnten, um sie später herauszuziehen; die breiteren Bohlen, die zunächst am hölzernen Rahmen lagen, hatten zwei solche Löcher und die andern eines.

In ähnlicher Art wurden auch von Milne eiserne Spundwände, die jenen ersten sehr ähnlich waren, benutzt; Fig. 215 zeigt die Form und die Stellung derselben, nämlich *a* ist der horizontale Durchschnitt durch drei Haupt- und zwei Verbindungsbohlen, *b* stellt die Seitenansicht derselben dar und zwar in der Art, dass man von den drei mittleren Bohlen das obere Ende und von den beiden Seitenbohlen das untere Ende sieht, und endlich zeigt Fig. 215 *c* noch den Längendurchschnitt der Hauptbohle. Die nähern Details dieser Bohlen, sowie ihre Dimensionen, ergeben sich aus der Zeichnung, und es ist nur zu bemerken, dass man behufs der regelmässigen Stellung der Hauptbohlen dieselben an ihrer vordern Seite (d. h. an der Seite, wo die Ränder und Rippen nicht befindlich sind) mit seitwärts vortretenden Lappen versieht, womit sie über die bereits eingerammten Bohlen greifen und sonach regelmässig an denselben herabgleiten. Fig. 215 *a* zeigt bei *A* einen solchen Lappen, der die Höhe von etwa 4 Zoll hat und sich ziemlich nahe am untern Ende der Bohle befindet. Es ist klar, dass dieser Lappen es nur verhindern kann, dass die

letzte Bohle sich nicht hinter die bereits eingerammte schiebt, das Vortreten vor dieselbe kann er nicht verhindern, aber wenn die Zuschärfung des Fusses so gemacht ist, dass die Bohle die Tendenz hat, sich zurückzuschieben, so drängt sich der Lappen immer dagegen und man erreicht auf solche Art die beabsichtigte parallele Einstellung.

Beim Einrammen der gusseisernen Spundpfähle wird zwar in England gewöhnlich auch der gusseiserne Rammklotz benutzt, jedoch lässt man ihn alsdann nicht leicht durch eine Kunstramme auf eine grosse Höhe erheben, er wird vielmehr nur durch die gewöhnliche Zugramme $3\frac{1}{2}$ Fuss hoch gezogen. Er fällt auch nicht unmittelbar auf den Kopf des Pfahles, sondern dieser wird durch eine eichene Bohle gedeckt, die wie ein flacher Aufsetzer an der Läuferruthe befestigt ist.

Es kommen ferner bei den gusseisernen Spundpfählen noch manche Modificationen vor. Die Länge derselben beträgt gewöhnlich 10 bis 15 Fuss und für manche Spundwände genügt dieses nicht, alsdann setzt man zwei Längen, wie Fig. 216 zeigt, durch eine eiserne Klammer zusammen, welche mittelst eingeschlagener Keile zum recht festen Schlusse gebracht wird; dabei greifen beide Theile mit einer Spundung in einander, wie dieses der Querschnitt zeigt. Ferner hat man auch Spundbohlen von gewalztem Bleche und gleichfalls mit umgebogenen Rändern dargestellt, wie dieses Fig. 217 zeigt; diese besitzen eine grosse Biegsamkeit und sind also auch da zu gebrauchen, wo einige Unregelmässigkeit sich vorfindet und sonach die gusseisernen Bohlen nicht mehr den gehörigen Schluss darstellen würden. Mittelst dieser Bohlen kann man, wenn sie passend geformt sind, auch leicht zwei Spundwände verbinden, die sich unter einem rechten oder irgend einem andern Winkel treffen. *) Endlich hat man hierbei auch noch die Aenderung angebracht, dass die Fuge zwischen beiden Haupt- und den Verbindungsbohlen mit einem gut erhärtenden Wassermörtel angefüllt wird, zu welchem Zwecke man auch wohl die Querschnitte noch etwas verändert, um recht weite Fugen darzustellen. Fig. 218 zeigt endlich den Querschnitt der gusseisernen Spundwand unter dem ganz aus Gusseisen bestehenden Bohlwerke

*) Davy, *the constructive Manual I. p.* 60 ff.

in der Ostindischen Docke zu London; die Bohlwerkspfähle, deren einen man hier im Querschnitte bei *B* sieht, stehen 7 Fuss auseinander und zwischen je zweien derselben sind fünf Spundbohlen eingeschoben. Sehr ähnlich ist auch die Spundwand, die zu Deptford an der eisernen Uferschälung angebracht ist. *)

§. 41.

Die Grundsäge.

Wenn die Baustelle nach dem Einrammen der Rostpfähle oder auch schon früher mit einem Fangedamm umgeben und ausgeschöpft wird, so hat man Gelegenheit, die Pfähle mit den gewöhnlichen Sägen abzuschneiden und sie zugleich mit Zapfen zu versehen; wenn man dagegen die §. 35 angedeutete Anordnung des Pfahlrostes wählt und die Fangedämme ganz umgeht, oder wenn man von der später zu beschreibenden Fundirungsart in Caissons Gebrauch machen will, so müssen die Pfähle unter Wasser horizontal abgeschnitten werden, wozu die Grundsäge dient. Es kommen indessen auch andere Fälle nicht selten vor, wo man Pfähle in grösserer oder geringerer Tiefe unter Wasser abschneiden muss, und dieses geschieht auch, wenn es sich überhaupt nur um die Entfernung der Pfähle handelt und ein Ausziehen derselben zu viele Schwierigkeiten machen würde.

Der letzte Fall ist der einfachste, indem es dabei am wenigsten darauf ankommt, dass der Schnitt ganz genau in einer vorher bestimmten Tiefe und horizontal geführt wird. Man braucht hierbei nur eine auf gewöhnliche Art eingespannte Säge mit einem langen Stiele zu versehen, so dass sie schräge von einer Rüstung aus oder auch wohl von einem Nachen bewegt werden kann, doch muss dieselbe zugleich durch eine Zugstange oder durch ein Seil gegen den abzuschneidenden Pfahl angedrückt werden. Ich habe mit solchen Sägen mehrfach einzelne Pfähle in der Tiefe bis 6 Fuss unter Wasser abschneiden lassen, und wenn die Arbeit auch langsam von statten ging und dabei wenigstens drei Mann angestellt werden mussten, so wurde doch ohne grosse Vor-

*) *Transactions of the Institution of Civil Engineers. I. p.* 195 ff. und *Public Works of Great Britain B. p.* 20.

kehrungen der Zweck jedesmal sicher erreicht. Fig. 219 zeigt eine ähnliche Vorrichtung, die zu demselben Zwecke bei den Correctionen des Rheines in der Nähe von Strassburg benutzt wurde *) und die sich von jener durch eine etwas festere Zusammensetzung des ganzen Apparates unterscheidet. Das Sägeblatt muss recht fest eingespannt sein, und damit es in gleichmässiger Richtung geführt wird, so ist es Hauptbedingung, dass die Ebene desselben mit der des Stiels und zugleich der Handhabe *A* zusammenfällt; die Arbeit wird auch noch dadurch sehr erleichtert, dass man den Stiel nicht ganz frei schweben und ihn allein durch die beiden Leute führen lässt, welche die Handhabe halten und die Säge bewegen, sondern dass man für denselben noch eine andere sichere Unterstützung darstellt, dass man also etwa kreuzweise zwei Latten befestigt oder eine Bohle mit einem Einschnitte anbringt, worin der Stiel liegt. Alsdann dürfen die Arbeiter nur darauf achten, dass die Handhabe beständig horizontal bleibt, so vermeiden sie schon jedes starke Klemmen. Mittelst einer Leine wird die Säge beim Beginnen der Arbeit bis zu der erforderlichen Tiefe am abzuschneidenden Pfahle herabgelassen und alsdann durch eine zweite Leine, die am besten wohl an einem der beiden eisernen Arme neben dem Sägenblatte ihre Befestigung findet, gegen den Pfahl fortwährend angedrückt. Es darf hierbei kaum erwähnt werden, dass der Pfahl so weit frei stehen muss, dass nirgend die Säge gegen andere Pfähle oder den Boden anstösst, und überdies ist es gut, die Zähne der Säge stark zu schränken oder sie recht weit aus der Ebene des Blattes heraustreten zu lassen, damit der Schnitt möglichst breit wird und man dadurch ein Klemmen ganz sicher vermeidet. Die Leine, womit die Säge angezogen wird, muss nicht zu scharf gespannt werden, denn es kommt hierbei viel weniger darauf an, eine solche Arbeit, die sich nur selten wiederholt, möglichst zu beschleunigen, als vielmehr alle Zufälligkeiten zu vermeiden, wodurch der Apparat zerbrochen oder unbrauchbar gemacht werden könnte.

Wenn es dagegen die Absicht ist, Rostpfähle in einer vorher bestimmten Tiefe ganz genau und zwar horizontal abzuschneiden, so ist hierzu der erwähnte einfache Apparat nicht mehr aus-

*) *Nouvelle Collection de dessins, relatifs à l'art de l'Ingénieur.*

reichend; man muss die Säge alsdann viel fester aufstellen und sie in ein Gatter einspannen, das sich genau horizontal richten und in die verlangte Tiefe bringen lässt. Eine feste Rüstung kann man hierbei nicht füglich entbehren, de Cessart führt freilich an *), dass er beim Bau der Kaimauer zu Rouen der Kostenersparung wegen gezwungen worden sei, die Rüstung fortzulässen und die Grundsäge zwischen zwei Schiffen aufzustellen; er setzt aber hinzu, dass nicht nur die Sägeblätter dabei oft brachen und die Schnitte sehr unregelmässig ausfielen, sondern dass ausserdem auch die Arbeit sich übermässig verzögerte. Die Schwierigkeiten waren in diesem Falle auch ausserordentlich gross und die Fortlassung einer festen Rüstung gerade hier am wenigsten zu rechtfertigen, denn wegen der Ebbe und Fluth konnte immer nur die kurze Zeit des höchsten oder des niedrigsten Wassers für diese Arbeit benutzt werden.

Wenn die Holme der Rüstung recht horizontal verlegt sind, so braucht man auf dieselben nur den **Schlitten**, der die Säge trägt, hin- und her zu schieben, um alle Pfähle ohne weiteres Einstellen der Säge horizontal abzuschneiden. Ist das Gewicht des Schlittens bedeutend, so lässt man ihn wohl auf Rollen oder Rädern laufen, und wenn die Säge daran besonders bewegt wird, so versieht man ihn häufig noch mit einer Querbahn, worauf ein zweiter Schlitten in ähnlicher Art verschoben werden kann, so dass man nach zwei Richtungen die Verschiebung vornehmen und auf diese Art alle Rostpfähle in den verschiedenen Pfahlreihen abschneiden kann. Es kommen indessen solche complicirte Vorrichtungen nur da vor, wo man in grösserer Tiefe die Säge gebrauchen will; am häufigsten geschieht es, dass man einen Rahmen, der in der angemessenen Tiefe das horizontal gestellte Sägeblatt trägt, mit erhöhten Handhaben versieht und ihn unmittelbar auf der Rüstung hin- und herschieben und zugleich gegen den Pfahl andrücken lässt. Um ein Beispiel hiervon mitzutheilen, wähle ich diejenige Vorrichtung, welche bei Erbauung der Brücke zu Berry au Bac angewendet wurde und welche Fig. 220 *a* und *b* in der Seitenansicht und in der Ansicht von vorn zeigt. Zwei etwas hochkantige schwache Holzstücke von

*) *Description de travaux hydrauliques. I. p.* 234.

9 Fuss Länge sind mittelst zweier Riegel in dem Abstande von 3 Fuss von einander befestigt und diese Verbindung bildet den verschiebbaren Rahmen; unter den Riegeln ist eine kreuzförmige Verstrebung aus Schmiedeeisen befestigt und durch diese greifen die beiden Schienen hindurch, an deren untere umgebogene Enden das Sägeblatt festgeniethet ist. Um letzteres gehörig zu spannen, kann man die obern Enden der Schienen durch Schrauben zusammenpressen. Endlich ist aber jede Schiene, wie die vordere Ansicht zeigt, noch durch zwei Zugbänder seitwärts an dem Rahmen befestigt, wodurch man ein Umbiegen derselben verhindert, welches sonst in Folge des starken Andrückens an den Pfahl leicht eintreten könnte. Mit dieser Vorrichtung wurden durch vier Mann an einem Tage sechzehn bis achtzehn Pfähle abgeschnitten und der Schnitt erfolgte etwa 5 Fuss unter Wasser. *)

Zuweilen hat man bei ähnlichen ziemlich einfachen Vorrichtungen auch die Anordnung getroffen, dass durch besondere Taue der Rahmen gegen den abzuschneidenden Pfahl gedrückt wird, oder man spannt auch die Säge in ein leichtes Gatter, das unter dem Wasser liegt und das durch Leinen, die man von beiden Seiten aus über Rollen heraufzieht, hin- und herbewegt wird. Man hat hierbei allerdings den Vortheil, dass die zu bewegende Masse viel geringer und sonach die hieraus hervorgehende Reibung auch unbedeutender ist; nichts desto weniger möchte wohl diese Befestigung der Säge nie so sicher sein, als die zuerst beschriebene, wenn man nicht etwa den ganzen beweglichen Rahmen nebst seiner Leitung aus Eisen darstellt, was sich nur da rechtfertigen würde, wo entweder die Säge sehr lange im Gebrauche bleibt, oder sie in sehr grosser Tiefe benutzt werden soll. Bei den einfacheren Apparaten, wovon hier die Rede ist, die man nur für einzelne Pfähle einrichtet, kommt es, wie bei der beschriebenen Handsäge, auf die Kraftersparung weniger an, als vielmehr darauf, dass die Anschaffungskosten nicht zu gross ausfallen und der Zweck, wenn auch langsam, doch sicher erreicht wird.

Unter ähnlichen Verhältnissen hat man bei Gelegenheit der bereits erwähnten Rheinstromcorrectionen bei Strassburg noch auf eine andere und ganz eigenthümliche Art die Säge aufgestellt,

*) *Nouvelle Collection de dessins etc.*

wie Fig. 221 in der Ansicht von der Seite zeigt. Das Sägeblatt *CD* ist nämlich in einem Rahmen eingespannt, der pendelartig um den Bolzen *B* schwingt und mittelst der beiden Zugstangen *E* und *F* hin- und herbewegt wird, wobei die Säge den Pfahl durchschneidet. Für das gehörige Andrücken der Säge an den Pfahl braucht hierbei vielleicht nicht besonders gesorgt zu werden, da sich dieses durch die Zugstangen selbst schon bewirken lässt, aber es ist klar, dass die hierbei nothwendig eintretende Krümmung des Sägenblattes leicht ein sehr beschwerliches Klemmen veranlassen kann, dem man noch am sichersten dadurch vorbeugt, dass man den Rahmen recht hoch macht und ihn nicht weit ausschwingen lässt. Im erwähnten Falle betrug seine Höhe $7\frac{1}{2}$ Fuss.

Der schwierigste Fall ist endlich der, wenn man das Abschneiden der Pfähle in einer grossen Tiefe von etwa 10 Fuss unter Wasser oder darüber bewirken will. Die Holzverbindungen verlieren alsdann, wenn sie noch gehörig beweglich bleiben sollen, ihre Steifigkeit, und da alle nachtheiligen Zufälle mit der grössern Tiefe auch weit leichter eintreten können, so wird es um so mehr Bedingung, für eine recht feste Aufstellung zu sorgen, die man nur erreicht, indem man alle Theile aus Eisen bestehen lässt; alsdann sind sie einem Quellen nicht mehr unterworfen und sie bewegen sich mit genauem Schlusse noch leicht ineinander. In diesem Falle zeigt sich sogar das Sägen unter Wasser gar nicht mehr als eine besonders beschwerliche Arbeit und es erfordert keine viel grössere Kraftanstrengung, als beim Gebrauche der gewöhnlichen Sägen über Wasser nöthig sein würde. Wenigstens rühmt dieses de Cessart von der von ihm mehrfach benutzten Grundsäge.

Es kommt hierbei noch der Umstand in Betracht, dass man von jedem Pfahle ein beträchtliches Ende seiner Länge abschneiden muss und man sonach gezwungen ist, Pfähle anzuwenden, die behufs des Einrammens noch immer bis über das Wasser herüberreichen müssen, während sie nur diejenige Länge haben dürfen, die der Tiefe entspricht, in welcher sie abgeschnitten werden. In England, wo man bei allen Bauconstructionen möglichst auf Holzersparung bedacht ist, hat man diesen Uebelstand wirklich beseitigt. Beim Bau der Lary-Brücke bei Plymouth wurden die Rostpfähle nur so lang zugeschnitten, dass sie eben über die

Grundschwellen herüberreichten; um sie aber 7 bis 8 Fuss unter das Wasser herabzutreiben, so schnitt man, sobald sie dem Wasserspiegel mit ihrem Kopfe sich näherten, denselben conisch zu, so dass ein gusseiserner Schuh, wie Fig. 222 im Durchschnitte zeigt, recht genau darauf passte. Dieser Schuh hatte unten eine conische und oben eine cylindrische Höhlung und beide waren durch die angegossene Zwischenwand von einander getrennt. Oben war ein Aufsetzer von Ulmenholz, der seiner ganzen Länge nach mit Zugbändern umgeben war, fest eingetrieben. Auf solche Art konnte man den Pfahl bis zur beabsichtigten Tiefe einrammen, und nach der Beschreibung, die Rendel hiervon giebt *), wurde die Oberfläche des Pfahles nicht nur ganz unbeschädigt erhalten, sondern es zeigte sich auch, dass die Kraft der Ramme oder die Wirkung der einzelnen Schläge nicht merklich geschwächt wurde. Zum Abschneiden dieser Pfähle benutzte man ferner die Taucherglocke und so leicht es auch war, in derselben die gewöhnliche Säge zu gebrauchen, so verursachte es doch Schwierigkeit, die Höhe zu bestimmen, in welcher man den Schnitt machen sollte, weil man nur immer einen Pfahl in der Glocke fassen konnte. Man half sich in dieser Beziehung dadurch, dass man nach Beendigung der Rammarbeit und nachdem der Aufsetzer mit dem Schuh entfernt war, die Höhe der Oberfläche jedes einzelnen Pfahlkopfes mittelst der Peilstange genau bestimmte und dadurch die Länge des abzuschneidenden Theiles für jeden Pfahl ermittelte. Die Arbeiter in der Glocke konnten sonach vorher angewiesen werden, um wieviel Fusse und Zolle sie jeden Pfahl verkürzen sollten.

Unter den complicirteren Maschinen zum Absägen der Pfähle unter Wasser erwähne ich zuerst diejenige, welche Etheridge beim Bau der Westminster-Brücke zu London anwendete; eine Rüstung aus Schmiedeeisen, die im Allgemeinen eine pyramidale Form hatte, wurde von oben neben dem abzuschneidenden Pfahle herabgelassen und an demselben befestigt, während sie gleichzeitig im Hebezeuge hängen blieb. Ihre Grundfläche brachte man in diejenige Ebene, wo der Schnitt geschehen sollte. Die Säge war in ein Gatter eingespannt, das sich mittelst vier Leitstangen in

*) *Transactions of the Institution of Civil Engineers. I. p.* 102.

einem Rahmen hin- und herschieben liess; letzterer erhielt die Bewegung durch Leinen von der Seite, die über Rollen geführt waren und abwechselnd angezogen wurden. Um das Vorrücken der Säge gegen den Pfahl zu bewirken, war auch der ganze Rahmen, der die vier Leitstangen des Gatters umfasste, beweglich und zwar liess er sich in einer Richtung verschieben, welche normal gegen die der Säge war. Dieser Rahmen wurde nun durch zwei andere Leinen, die von einem angemessenen Gewichte in Spannung erhalten wurden, immer gegen den Pfahl gepresst und sonach rückte die Säge in demselben Maasse, wie sie tiefer einschnitt, auch weiter vor. Diese Beschreibung wird von der Anordnung der Maschine im Allgemeinen einen Begriff geben, die Mittheilung der Specialien scheint aber überflüssig, da man seitdem nicht wieder davon Gebrauch gemacht hat und die ganze Aufstellung wohl nicht recht fest sein konnte. *)

Um die nähere Beschreibung eines Apparates dieser Art hier zu geben, so wähle ich den, welchen de Cessart bei seinen Fundirungen in Caissons und zwar zuerst bei der Brücke zu Saumur einrichtete. **) Fig. 223 *a* und *b* stellt denselben in der Ansicht von vorn und im Grundrisse dar. Die erste Ansicht zeigt, wie auf den Holmen der Rüstpfähle die Rollen *G* laufen, welche den Schlitten tragen; dieser ist aber wieder mit einer Querbahn versehen, auf welcher die Rollen *H* unter dem zweiten Schlitten gehen; an dem letzten ist der Apparat befestigt und derselbe kann also mit Leichtigkeit in beiden Richtungen verstellt werden. Vier Trageeisen *I*, die in Fig. *a* und *b* angedeutet sind, reichen vom Gestelle des zweiten Schlittens herab; oben sind sie aber mit Zähnen versehen und greifen in Getriebe. An den Axen dieser Getriebe befinden sich Räder, die jedesmal durch ein zweites Getriebe und eine Kurbel verstellt werden können. Diese Vorrichtung ist an jedem der vier Trageeisen angebracht und sonach kann man den starken eisernen Rahmen, woran die Säge befestigt ist, beliebig heben und senken und ihn auch genau horizontal einstellen. Dieser Rahmen, der gitterförmig aus Eisenstangen gebildet und

*) Eine nähere Beschreibung und Abbildung der Maschine findet man in Eytelweins prakt. Anweisung zur Wasserbauk. Heft I. Seite 68.

**) *Travaux hydrauliques. I. p.* 71 ff.

in allen Durchkreuzungen vernietbet ist, wird in den vier Ecken mit Platten von starkem Eisenbleche bedeckt. Die vier Trageeisen können ein starkes Schwanken des Rahmens allein nicht verhindern, derselbe wird also noch gegen den abzuschneidenden Pfahl befestigt und zwar geschieht dieses unterhalb der Säge, so dass die Verbindung noch immer nicht gelöst wird, wenn der obere Theil des Pfahles auch mit dem untern kaum noch zusammenhängt. Dieser Umstand unterscheidet wieder sehr vortheilhaft diese Säge von der beim Bau der Westminster-Brücke angewendeten, woselbst die Befestigung gegen den obern Theil des Pfahles erfolgte. Der Pfahl wird hier durch eine Zange gefasst, von der jeder Arm *K* an seiner Drehungsaxe befestigt ist; diese Drehungsaxen verlängern sich aber bis über den Schlitten und liegen hier in einer zweiten Pfanne und sind oben mit Hebeln versehen. Wenn sonach diese Hebel in der passenden Richtung gedreht und alsdann recht steif angebunden werden, so fasst die Zange sehr sicher den Pfahl und nimmt dadurch eine feste Stellung an, die wieder das Schwanken des ganzen Rahmens aufhebt.

Der Grundriss *b* zeigt die in einen starken Bügel eingespannte Säge, und um in der Figur das Verständniss der Maschine zu erleichtern, so sind alle diejenigen Theile, die beim Hin- und Hergehen der Säge in Bewegung kommen, durch Schraffirung von den übrigen unterschieden. Die Säge wird geführt durch die mit Schlitzen versehene Bahn *L M* und sie erhält die abwechselnde Bewegung durch die beiden Hebel *N O P*, die sich um die Axen *O* drehen. Die Arbeiter stehen auf dem Gerüste und schieben oder stossen die Handhaben *R* und dadurch werden die gebrochenen Zugstangen *R S* abwechselnd nach der einen und der andern Seite bewegt. Durch diese Bewegung wird das gleichseitige in sich verbundene Dreieck, dessen Spitze *T* nach unten gekehrt ist, gleichfalls hin- und hergezogen. Der Zapfen in *T* greift aber in einen vertical gerichteten Schlitz im Rahmen *U V* ein; dadurch wird auch dieser Rahmen vor- und zurückgeschoben, und indem daran die beiden Enden *P* der erwähnten Hebel gehalten werden, so müssen auch diese an der Bewegung Theil nehmen, die sich bis nach der Säge fortsetzt.

Demnächst musste noch dafür gesorgt werden, dass die Säge auch weiter vorgeschoben werden kann; dieses geschieht mittelst

der beiden gezahnten Räder *W*. Die Axe des einen Rades reicht, wie die Ansicht der Maschine zeigt, wieder bis über die Rüstung und ist oben mit einer Kurbel X versehen; sobald letztere gedreht wird, so bewegen sich auch die beiden gezahnten Stangen, in welche die Räder eingreifen, gleichmässig vor und schieben die Axen *O* der Hebel *PN*, sowie auch die mit Schlitzen versehene Bahn *LM*, worin die Säge läuft, weiter vorwärts, so dass diese immer in frisches Holz schneiden kann.

Von dieser Vorrichtung hat nicht nur de Cessart mehrfach Gebrauch gemacht, sondern sie ist auch später bei der Brücke Pont des Arts in Paris angewendet worden. Man führte im letzten Falle nur die Abänderung ein, dass man dem gleichseitigen Dreiecke, das die Bewegung von den Zugstangen dem Rahmen *UV* mittheilt, eine feste Axe und zwei horizontale Arme gab. Letztere wurden alsdann durch senkrechte Zugstangen mittelst langer Hebel, wie die Kolben von Feuerspritzen, auf- und abbewegt. Diese Aenderung ist wohl sehr passend, denn es scheint, dass die gebrochenen Zugstangen, wie sie die Figur darstellt, leicht aus der Ebene kommen oder auch verbogen werden. *)

Mit derjenigen Säge, wie sie zuerst beschrieben ist, schnitt de Cessart Anfangs nur die Pfähle ungefähr 7 Fuss unter Wasser ab, beim siebenten Pfeiler der Brücke zu Saumur wurde aber die Tiefe, in welcher die Säge wirken sollte, auf mehr als 15 Fuss unter dem Wasserspiegel bestimmt. Die Maschine verrichtete ihren Dienst mit voller Sicherheit und Perronet, der auf die Baustelle zur Inspection gekommen war, untersuchte die Pfahlköpfe und fand sie sämmtlich in der gehörigen Höhe abgeschnitten. De Cessart machte hierbei den Versuch, einzelne Pfähle zuerst 4 bis 5 Linien zu hoch abzuschneiden, darauf wurde die Säge richtig eingestellt und mit grosser Vorsicht in Bewegung gesetzt; sie schnitt alsdann dünne Scheiben von 2 Linien Stärke ab, welche, ohne zu zerbrechen, sich endlich lösten und an die Oberfläche des Wassers traten. Sie gaben den deutlichsten Beweis von der Sicherheit der Säge. Ein Pfahl von 9 bis 10 Zoll Durchmesser wurde etwa in 4 Minuten durchschnitten, man konnte aber

*) Schulz, Versuch einiger Beiträge zur hydraulischen Architektur. Königsberg 1808. S. 32 ff.

auch 18 Zoll starke Pfähle noch damit abschneiden. Das Verstellen nahm jedoch so viel Zeit fort, dass man an einem Tage nicht mehr als auf zwanzig Pfähle kam. War die Säge einmal geschärft, so schnitt sie bis 40 Pfähle durch, ohne dass sich eine Verzögerung der Arbeit in Folge des Stumpfwerdens bemerken liess; dieses ist mehr, als man bei dem gewöhnlichen Gebrauche der Säge erreichen kann, und es erklärt sich die bessere Conservirung der Schneide dadurch, dass die Säge im Wasser gar nicht warm wird.

Die Kreissäge, welche in neuerer Zeit bei vielfacher Gelegenheit mit grossem Vortheile angewendet ist, hat man auch verschiedentlich als Grundsäge zu benutzen versucht; die Resultate sind jedesmal befriedigend ausgefallen, was sich auch wegen der viel einfacheren Aufstellung erwarten liess. Der Rahmen, den man sonst braucht, um die Säge hin- und herzuführen, fällt hier fort und dagegen tritt nur die Befestigung der Axe ein, um welche die Drehung geschieht; die Drehung erfolgt gewöhnlich durch eine Kurbel, die unmittelbar an der Axe angebracht ist; so ist dieses z. B. beim Bau der Brücke zu Bordeaux geschehen, und da es hierbei auf grosse Geschwindigkeit der Arbeit nicht anzukommen pflegt, so möchte dieses auch fast immer genügen. Zuweilen hat man aber, um die Arbeit etwas zu beschleunigen und um die Kurbel bequemer bewegen zu können, letztere an einer horizontalen Axe angebracht, die mit einem conischen Rade in ein Getriebe an der Axe der Säge eingreift. Andererseits hat man auch statt des Rades und Getriebes eine Schnur ohne Ende gewählt, wodurch sich die Anschaffungskosten etwas ermässigen; dieses ist z. B. bei der Säge geschehen, welche vor einigen Jahren in Berlin zum Abschneiden einiger Rostpfähle in der Tiefe von 2 Fuss unter Wasser benutzt wurde.

Dass die Kreissäge jedesmal mit einer Vorrichtung versehen sein muss, wodurch sie an den abzuschneidenden Pfahl näher herangeschoben werden kann, darf kaum erwähnt werden; und nur in dem Falle, wo es durchaus auf keine sorgfältige Arbeit ankommt, kann man sich vielleicht damit begnügen, wie es zuweilen auch wirklich geschehen ist, nur das untere Ende der Axe, woran die Säge befestigt ist, gegen den Pfahl zu drücken. Um das regelmässige Verschieben der Axe zu bewirken, muss dieselbe

in einem Rahmen befestigt sein, der bei unveränderter Lage sich vorwärts bewegt. Bei festen Rüstungen ist dieses nicht schwer zu erreichen, da man hier eine Absteifung des Rahmens in jeder Richtung vornehmen und seine Bewegung durch angebrachte Rollen oder Räder erleichtern kann. Die Axe der Säge muss ferner diejenige Länge haben, welche der grössten Tiefe entspricht, in der man noch den Schnitt ausführen will; die Säge selbst befindet sich am äussersten Ende der Axe, damit sie möglichst nahe über dem Grunde wirken kann. Damit nun aber die Axe nicht bricht, noch auch sich biegt, so muss die eine der beiden Pfannen, in welchen sie sich dreht, möglichst nahe über der Säge befindlich sein. Die andere Pfanne dagegen erhält ihre passendste Stelle am obern Ende der Axe oder wenigstens sehr nahe unter dem Rade oder der Kurbel. Auf diese Art bestimmt sich die Höhe des Rahmens, der beide Pfannen trägt, und indem es darauf ankommt, dass die Axe immer vertical bleibt, so muss die Länge und Breite des Rahmens auch angemessen gewählt werden, um jeder Biegung sicher vorbeugen zu können. Das Fortschieben des Rahmens auf der festen Rüstung erfolgt nun entweder durch eine Leine, welche angezogen wird, wie dieses bei der erwähnten in Berlin benutzten Säge geschehen ist, oder besser durch eine Schraube, wie beim Bau der Brücke zu Bordeaux, wodurch man weit regelmässigere und sanftere Bewegungen ertheilen kann. Die letzte Säge konnte 16 bis 18 Fuss unter Wasser arbeiten. Der Rahmen bestand aus einer festen Verstrebung von Schmiedeeisen, und bei dem grossen Gewichte desselben durfte man nicht befürchten, dass er durch die oben angebrachte Schraube schräge gestellt werden möchte. Da die bekannt gewordenen Zeichnungen dieser Säge nicht näher erklärt sind und Manches dabei nicht ganz verständlich ist, so wage ich es auch nicht, sie hier wieder zu geben, und ich wähle daher als Beispiel für die Aufstellung einer Kreissäge diejenige, welche man zum Abschneiden der Pfähle an den Uferbauten der Donau benutzt hat. Fig. 224 *a* zeigt diese Säge von der Seite. Es ist dabei die ganz eigenthümliche Anordnung getroffen, dass man zur Vermeidung einer besondern Rüstung, und da es hier wahrscheinlich auf eine grosse Genauigkeit nicht ankam, den aus drei schmalen Bohlenstücken zusammengesetzten und mit eisernen Bändern verbundenen Rahmen *AB*,

der die Säge trägt, unmittelbar gegen den abzuschneidenden Pfahl befestigte. Diese Methode scheint in allen Fällen, wo es auf Genauigkeit der Arbeit ankommt, keineswegs empfehlenswerth zu sein, nichts desto weniger ist die Art der Befestigung doch der Mittheilung werth. Oben liess sich der Rahmen durch umgeschlungene Taue und Ketten, besonders wenn solche durch zwischengetriebene Keile angespannt wurden, sehr sicher befestigen, unten geschah dieses aber durch eine Zange, die der von de Cessart angewendeten ähnlich ist, die sich aber durch eine veränderte Vorrichtung zum Schliessen unterscheidet. Die Zange ist, wie Fig. 224 *b* und *c* zeigt, so gebildet, dass die gekrümmten Arme, welche den Pfahl umfassen, des bessern Schlusses wegen mit Zähnen versehen sind; ferner sind die Arme rückwärts fortgesetzt, doch durchkreuzen sie sich nicht, sondern derselbe Arm, der vor dem Charniere der linkseitige ist, liegt auch hinter dem Charniere auf der linken Seite. Durch Auseinanderdrängen der hintern Fortsätze werden also die gezahnten Bügel geschlossen und man bewirkt dieses, indem man von oben ab eine eiserne Stange, die unten in einen passend geformten Keil ausgeht, zwischen die beiden hintern Arme hineintreibt. Will man später die Zange öffnen, was aber in der Regel erst dann geschieht, wenn der Pfahl bereits abgeschnitten ist und man den ganzen Sägeapparat zugleich mit dem abgeschnittenen Theile des Pfahles heraufgezogen hat, so befördern zwei Federn, welche die vordern Arme der Zange auseinanderdrängen, noch das Auslösen derselben, sobald der Keil entfernt ist.

Man hat bei dieser Säge die sehr zweckmässige Anordnung getroffen, dass die untere Pfanne, worin die Axe läuft, nicht nur durch Fortbewegung der obern verstellt wird, sondern dass sie für sich und zwar ganz übereinstimmend mit dieser ihre Bewegung erhält. In jedem der beiden Arme des Rahmens befindet sich nämlich, wie Fig. 224 *d* zeigt, ein Schlitz, wo die Axe hindurchgreift, und in den Schlitzen schieben sich auf eisernen Bahnen die beiden Pfannen fort; letztere sind rückwärts mit entsprechenden gezahnten Stangen versehen und diese werden durch zwei Getriebe an einer zweiten gemeinschaftlichen Axe bewegt, die in Fig. 224 *a* mit *C D* bezeichnet ist. Sobald diese also in einer oder der andern Richtung gedreht wird, so schieben sich beide Pfannen

ganz gleichmässig zugleich mit der Axe *EF* und der Säge *GH* vorwärts oder rückwärts. *)

Ein Umstand, welcher der Anwendung der Kreissäge häufig sehr hindernd entgegentritt, ist die Schwierigkeit, ein Sägeblatt von der erforderlichen Grösse zu erhalten, welches hinreichend genau gearbeitet und zugleich steif und fest ist. Will man Pfähle von etwa 1 Fuss Durchmesser durchschneiden, so muss die Kreissäge schon mindestens gegen 4 Fuss gross sein, indem die Scheibe, worauf sie gewöhnlich befestigt wird, den Pfahl nicht berühren darf; man hat sie wirklich in diesem Durchmesser dargestellt, was namentlich bei der Fig. 224 gezeichneten Säge und bei der, die man bei Bordeaux anwendete, der Fall war. Die Säge, die man in Berlin aufstellte, hielt dagegen nur 3 Fuss im Durchmesser und man konnte wegen der Platten, die sie umfassten, keinen Pfahl mit einem Male durchschneiden, sondern man musste zuerst von einer Seite anfangen und sobald der Rand der Platte das Holz berührte, den ganzen Rahmen um den Pfahl herumschieben und umdrehen und nun von der andern Seite wieder die Arbeit von Neuem beginnen, wodurch man erst den Schnitt vollständig bewirkte. Wenn der Gebrauch der Säge so umständlich ist, so kann man kaum einen Vortheil bei Anwendung derselben erwarten. Geht man indessen von dem hier bereits ausgesprochenen Grundsatze aus, dass es bei der Grundsäge gar nicht auf Kraftersparung ankommt, da bei dem seltenen Gebrauche, den man doch nur davon macht, es sehr gleichgültig ist, ob vier oder acht Mann die Säge in Bewegung setzen; dass aber die Hauptbedingung darin besteht, möglichst genau und unabhängig von allen Zufälligkeiten das Abschneiden zu bewirken, so darf man sich gar nicht mehr bemühen, einen recht feinen Schnitt, wie er wohl in andern Fällen erforderlich ist, auch hier darzustellen. Man kann die Säge ohne Nachtheil mit recht grossen, starken und stark geschränkten Zähnen versehen und dadurch dem Schnitte eine solche Breite geben, dass die eisernen Schienen oder Platten, welche zur Absteifung oder auch wohl zur Zusammensetzung des Sägeblattes erforderlich sind, sich noch ohne das Holz zu berühren in den Schnitt hineinschieben. In diesem Falle würde eine Kreis-

*) Förster's allgemeine Bauzeitung 1836. Stück No. 17.

säge einen Pfahl noch durchschneiden können, der den dritten Theil und vielleicht nahe die Hälfte ihres eignen Durchmessers zum Durchmesser hätte. Wahrscheinlich könnte man aber auch, wenn man der Säge eine grössere Geschwindigkeit gäbe und sie recht behutsam vordringen liesse, das unmittelbare Aufeinanderfolgen der Zähne ganz vermeiden und vielmehr schon durch wenige einzelne Zähne den Schnitt darstellen, in ähnlicher Art, wie man in den Maschinenbauanstalten die Gussmodelle für gezahnte Räder auszuschneiden pflegt. Giebt man der Säge in dieser Art nur eine geringe Anzahl von Zähnen, so lassen sich dieselben sehr genau und fest einstellen, so dass die Arbeit, des breiten Schnittes ungeachtet, dennoch mit grosser Schärfe auszuführen sein wird; es wird freilich hierbei eine viel grössere Betriebskraft erforderlich sein und besonders wenn eine starke Geschwindigkeit sich in diesem Falle als nothwendiges Erforderniss herausstellen sollte, nichts desto weniger wird man es immer als einen Gewinn betrachten müssen, eine Arbeit, die zu den allerschwierigsten und bedenklichsten gezählt werden muss, durch einige Tagelöhner, die man mehr bezahlt, mit voller Sicherheit ausführen zu können.

Endlich muss ich bemerken, dass sich das Princip der Kreissäge auch auf eine andere noch einfachere Art für die Grundsäge wohl benutzen liesse; der Vortheil der Kreissäge vor der gewöhnlichen Säge besteht darin, dass man eine Drehung um eine feste Axe statt des Hin- und Herschiebens auf einer Bahn einführt. Man vermeidet dadurch die kostbarere Einrichtung der letzteren und vielfaches Klemmen, Reiben und Schlottern, was so complicirte Einrichtungen wie die Bahnen, namentlich wenn man sie nicht immer untersuchen, noch auch vor Stössen und andern Beschädigungen gehörig sichern kann, leicht zu zeigen pflegen. Zur Erreichung dieses Vortheiles ist es aber keineswegs nothwendig, dass die Drehung ununterbrochen in derselben Richtung erfolgt, die Säge kann sich auch hin- und herbewegen und dennoch dabei um die feste Axe schwingen; man braucht also von der Axe nur zwei Arme ausgehn zu lassen, die etwa einen Winkel von 60 Graden gegen einander bilden und zwischen diese, wie an den Rahmen einer gewöhnlichen Säge, das Blatt einzuspannen. Dieses Blatt darf aber an seiner vordern Seite, wo die Zähne eingeschnitten sind, nicht durch eine gerade Linie begrenzt werden,

sondern vielmehr muss es hier einen Kreisbogen bilden, der die Drehungsaxe zum Mittelpunkte hat. Auf solche Art würde die Schwierigkeit in der Beschaffung einer grossen Kreissäge und zugleich die begränzte Tiefe des Schnittes ganz vermieden werden, und die Bewegung einer Säge dieser Art würde sich noch dadurch gegen die der gewöhnlichen Grundsäge sehr vereinfachen, dass die Arbeiter nur die Kurbel am obern Ende der Axe hin- und herschieben dürften. Es ist nur nicht bekannt, dass man auf solche Art eine Grundsäge zusammenzusetzen je den Versuch gemacht hat *); es scheinen sich hierbei aber so viele Vortheile zu vereinigen, dass man wohl hoffen darf, dadurch die wohlfeilste und bequemste Grundsäge darzustellen, welche noch mit voller Schärfe arbeiten kann.

§. 42.

Ausziehen der Pfähle.

Häufig trifft es sich, dass an der Stelle, wo eine Fundirung vorgenommen werden soll, alte Pfähle bereits im Grunde stecken, die man zuerst entfernen muss, und andererseits kommt es auch zuweilen vor, dass die Spund- oder Spitzpfähle, die man einrammt, nicht gehörig eindringen und deshalb wieder fortgeschafft werden müssen, und endlich werden manche Pfähle und namentlich die Rüstpfähle und die der Fangedämme nur bis zur Beendigung der Fundirung oder des ganzen Baues gebraucht, später würden sie aber nicht nur unnütz, sondern sogar nachtheilig sein. Aus diesen verschiedenen Gründen wiederholt sich häufig das Bedürfniss, die eingerammten Pfähle wieder auszuziehen, und gemeinhin ist dieses nicht nur an sich sehr schwierig und erfordert einen starken aufwärts gerichteten Zug, sondern es tritt noch der Uebelstand dabei ein, dass der feste Stützpunkt oft schwer zu beschaffen ist. Das gewöhnlichste und gewiss auch das einfachste und sonach das beste Mittel besteht in der Anwendung eines starken und schweren Hebels, wozu man entweder einen Pfahl oder einen

*) In der neuen Ausgabe von Sganzin's *Programmes* ist Taf. 35 Fig. 216 etwas gezeichnet, was mit dem hier gemachten Vorschlage zusammenzuhängen scheint, doch enthält dieselbe Figur noch nebenbei die vollständige Kreissäge und jede Beschreibung fehlt.

Balken anzuwenden pflegt. Zuweilen hat man indessen auch andere mechanische Vorrichtungen hierbei in Vorschlag gebracht und benutzt; von diesen soll zuerst die Rede sein.

Um die Pfähle der Rüstungen und Fangedämme bei den Hafenbauten in Hull auszuziehen, wurde ein Bock darüber gestellt, woran mehrere Flaschenzüge hingen, deren untere Blöcke am Pfahle befestigt waren, die darin eingeschornen Taue gingen aber über Erdwinden, und es war bei manchen Pfählen erforderlich, vier solche Winden anzubringen, deren jede mit vier Mann besetzt war, woraus man den Widerstand, den sie dem Ausziehen entgegensetzten, auf 15 bis 20 Tons (30000 bis 40000 Pfund) schätzte. *) Etwas zu gross mag diese Angabe wohl sein, indem namentlich beim Flaschenzuge die Reibung sehr stark ist, nichts desto weniger kann man aber doch annehmen, dass der erforderliche Zug, um einen Pfahl zu heben, sich schon dem Werthe seiner Tragfähigkeit nähert und bei einem weichen und zähen Boden mögen beide nicht sehr verschieden von einander sein.

Demnächst hat man die Schraube zu demselben Zwecke benutzt; schon Bélidor schlägt sie vor und räth die Einrichtung so zu treffen, dass die um den Pfahl geschlungene Kette an einem Wirbel am untern Ende der Schraubenspindel befestigt wird; auf einer festen Rüstung liegt die Schraubenmutter lose auf und wird mittelst vier Hebel wie eine Erdwinde gedreht. **) Bélidor bemerkt auch, wie man diese Vorrichtung auf Fahrzeugen stellen und auf solche Art die im Wasser stehenden Rüst- und andere Pfähle leicht entfernen kann. Die grosse Reibung, welche die Schraube jederzeit erfährt, möchte indessen bei fest eingerammten Pfählen kaum diesen Apparat als hinreichend wirksam erscheinen lassen. Nichts desto weniger ist bei den eben erwähnten Hafenbauten in Hull hiervon gleichfalls Gebrauch gemacht worden und zwar bei Gelegenheit einer Spundwand. Die eiserne Schraube hatte dabei eine Stärke von 4 Zoll und man musste damit zuweilen einen Zug ausüben, den man auf 18 Tons (36000 Pfd.) schätzte; einige Pfähle liessen sich aber durch dieses Mittel allein nicht heben und es gelang erst, sie in Bewegung zu setzen, nachdem

*) *Transactions of the Institution of Civil Engineers. I. p.* 45.

**) *Architecture hydraulique. Vol. III. p.* 120.

man ringsumher gebaggert hatte. Der Boden bestand hier aus reinem Sande.

Ferner hat man auch versucht, die Kette oder das Tau, woran der Pfahl befestigt ist, unmittelbar über eine horizontale Winde zu schlingen, welche durch irgend eine mechanische Vorrichtung gedreht wird. Eine solche Maschine beschreibt schon Perronet bei Gelegenheit der Brücke zu Orleans; es war nämlich eine hölzerne Welle auf einer einfachen Rüstung über dem Pfahle angebracht und ein Durchsteckarm darin wurde mittelst eines Taues an seinem äussern Ende mit einer zweiten ähnlichen Welle an derselben Rüstung verbunden. Letztere erhielt durch andere Durchsteckarme wieder ihre Bewegung. Es ist klar, dass hiermit keine grosse Kraft entwickelt werden kann und wenn man dieselbe auch durch Verlängerung der Arme oder vielleicht dadurch hervorbringen wollte, dass man noch mehrere dergleichen Wellen hinter einander legt, so hat der ganze Apparat doch nicht die erforderliche Festigkeit, indem schon die hölzernen Wellen bei dem kräftigen Zuge, den ein fest eingerammter Pfahl erfordert, brechen oder spalten und wenigstens die Zapfen sich darin leicht lösen möchten. Perronet machte hiervon auch nur Gebrauch, um die Pfähle der Fangedämme zu entfernen, die gemeinhin nicht besonders fest eingerammt werden. Sehr ähnlich dem beschriebenen Apparate ist der, dessen man sich bei den Hafenbauten vor Amsterdam bediente, um die alten im Grunde steckenden Rostpfähle herauszureissen; auf einem Fahrzeuge war nämlich am vordern Ende eine Winde von 3 Fuss Durchmesser aufgestellt, um welche das Tau, das am Pfahle befestigt ist, umgeschlungen war. Diese Winde hatte 6 Löcher zum Einsetzen von Hebeln. Ein solcher Hebel wurde in das passende Loch gesteckt und von seinem äussern Ende ging eine Leine über einen Fussblock nach einer Erdwinde, die auf dem Verdeck des Fahrzeuges aufgestellt war und durch vier Mann in Bewegung gesetzt wurde. *) Es ist wohl nicht anzunehmen, dass die Pfähle, die man hiermit entfernte, einen besonders grossen Widerstand leisteten, sowie schon bemerkt, dass in Holland die Pfähle nie besonders fest eingerammt werden.

*) Henz, der Hafen von Amsterdam, in den Verhandlungen des Gewerbevereins in Preussen. 1832. S. 179.

In neuerer Zeit hat man zuweilen die hydraulische Presse zum Ausziehen der Pfähle benutzt; dieses geschah z. B. beim Bau der Waterloo-Brücke. Man stellte die Presse oder vielmehr den Cylinder, worin der grössere Kolben befindlich ist, auf eine feste Rüstung und stützte einen starken Hebel aus einem Balken bestehend mit seinem Ende gegen den erwähnten Kolben. Das andere Ende des Hebels bildete den Drehepunkt und in seiner Mitte wurde die Kette umgeschlungen, welche an dem auszuziehenden Pfahle befestigt war. *)

Die einfachste und gewöhnlichste Vorrichtung zum Ausziehen der Pfähle besteht, wie bereits erwähnt worden, in der Anwendung des Hebels oder des Wuchtbaumes. Derselbe ist zur Aeusserung eines sehr kräftigen Zuges vollkommen geeignet und bei gehöriger Einrichtung und Benutzung dürfte er wohl für Pfähle, die besonders fest eingerammt sind, sich vorzugsweise eignen. Bei den Bohlwerksbauten in Pillau und namentlich bei dem des sogenannten hohen Bohlwerkes, das die Stadt gegen die See schützt, war das Ausziehen der alten Pfähle, wenn man neue einrammen wollte, häufig nothwendig, indem der Grund stellenweise so unrein war, dass man neben dem alten Pfahle einen neuen gar nicht hineinbringen konnte. Diese Pfähle mussten aber jederzeit sehr tief eingerammt werden, indem zuweilen bedeutende Auskolkungen hier eintraten, welche den Einsturz des ganzen Bohlwerkes zur Folge haben konnten, wenn die Pfähle darunter nicht immer noch einen festen Stand behalten hätten. Diese Pfähle hatten eine Länge von 50 bis 60 Fuss und steckten gemeinhin über 30 Fuss tief im Grunde. Das Ausziehen derselben war mit sehr grossen Schwierigkeiten verbunden, und da die Mittel, die man sonst hier anzuwenden pflegte, sehr genau mit denen übereinstimmen, welche man gewöhnlich benutzt, so will ich mit ihrer Beschreibung den Anfang machen.

Ein starker Pfahl wird an seinem Stammende etwa auf 6 Fuss Länge an einer Seite behauen und eine starke eichene Bohle darauf genagelt; diese dient dazu, um ein Rollen des Pfahles zu verhindern und ihn zugleich vor starken Beschädigungen zu sichern, denen er beim Drehen um Brechstangen oder um die

*) Davy, *Constructive Manual I. p.* 72.

scharfen Kanten von Balken sonst ausgesetzt sein würde. Den Drehepunkt sucht man nun möglichst nahe an dem auszuziehenden Pfahle darzustellen, er wird gebildet durch einen vorgelegten Balken und am besten ist es, wenn man andere eingerammte Pfähle als Unterlager für denselben benutzen kann, doch muss man sich häufig auch damit begnügen, ihn nur durch Absteifung und Unterfütterung möglichst zu sichern; man muss sich aber darauf gefasst machen, dass die Arbeit um so schwieriger wird, je loser die Unterlage ist, und dass es bei einer grossen Elasticität derselben beinahe unmöglich wird, den Pfahl mit dem Wuchtbaume noch auszuziehen. Nun kommt es darauf an, den hintern oder den längern Hebelsarm (das Wipfelende des Pfahles) zu erheben; dieses geschieht mittelst eines dreibeinigen Bockes, den man darüber stellt und an welchem ein Flaschenzug befestigt ist. Wenn auf diese Art der kürzere Hebelsarm möglichst tief herabgesunken ist, so verbindet man denselben mit dem Kopfe des auszuziehenden Pfahles. Man muss sich, wenn die Pfähle nicht ganz lose im Grunde stecken, hierzu einer starken Kette bedienen, denn ein Tau leidet dabei theils zu viel, theils aber ist seine Elasticität auch der ganzen Operation sehr hinderlich und jedenfalls müsste es einen sehr bedeutenden Durchmesser haben, wenn man es mit einiger Sicherheit anwenden wollte. Beim Anstecken der Kette kommt es darauf an, dieselbe sogleich in eine möglichst starke Spannung zu versetzen, denn wenn man dieses versäumt, so fängt der Hebel an sich zu senken und er erreicht vielleicht den Erdboden, ohne auf das Heben des Pfahles gewirkt zu haben, indem er nur die Kette stärker anspannte. Gewöhnlich befestigt man die Kette gegen den Wuchtbaum durch mehrmaliges Umschlagen, und indem sich an ihrem andern Ende ein starker Ring befindet, so zieht man sie durch denselben hindurch und bildet auf diese Art eine Schlinge; letztere streift man auf den Kopf des Pfahles herab, stösst sie recht fest mit Brechstangen nieder, und um ein Aufwärtsschieben derselben zu verhindern, so werden noch Bolzen oder zugeschärfte Brechstangen davor geschlagen. Ist Alles auf solche Art vorbereitet, so lässt man den Wuchtbaum herabsinken und dieser senkt sich so weit, als der Widerstand am kürzeren Arme es erlaubt. Es zeigen sich hierbei fast jedesmal mancherlei Uebelstände; zunächst kommt gewöhnlich der Wuchtbaum, der

Anfangs sehr schräge hing, in eine fortgleitende Bewegung und rückt dem Pfahle näher, dadurch verlängert sich der kürzere Hebelsarm und der Zug vermindert sich häufig um die Hälfte. Diese Bewegung hat aber auch noch die üble Folge, dass der Balken, um welchen der Wuchtbaum sich drehen soll, leicht heruntergeworfen oder wenigstens verschoben wird, beides ist aber für die in der Nähe stehenden Arbeiter sehr gefährlich. Der Wuchtbaum pflegt nun bei der ersten Erhebung sich nicht lange schwebend zu erhalten, sondern die Kette, die sich überall an das Holz scharf anlegt, auch wohl stellenweise sich stark darin eindrückt, giebt aus diesem Grunde so viel nach, dass der kürzere Arm sich heben und der längere bis zum Boden herabfallen kann. Dieser erste Versuch hat also gewöhnlich auf den eigentlichen Zweck gar nicht hingewirkt und nur dazu gedient, das Holz des Wuchtbaumes und besonders das des Pfahles zusammenzudrücken. Man wiederholt alsdann dieselbe Operation; der Wuchtbaum wird zuerst zurückgeschoben, dann gehoben und sobald dieses geschehen, sucht man die Kette wieder zu spannen. Das letzte erscheint am leichtesten, wenn man die Vorsteckbolzen aus dem Pfahle herausschlägt und mit Brechstangen die Kette von Neuem recht tief herabstösst und sie wieder durch die Bolzen möglichst zu sichern sucht. Das Resultat dieses zweiten Versuches ist gewöhnlich noch ganz dasselbe, wie das des ersten es war. Die Kette fasst nämlich in dem Pfahle wieder frisches Holz, welches sie ebenso wie das erste Mal stark comprimirt, und so wiederholt sich nicht selten derselbe Erfolg bis zehnmal und wohl noch häufiger nach einander, bis endlich durch die immer erneute Compression des Holzes und durch das Weiterschieben der Kette es gelingt, einen solchen Widerstand zu erreichen, dass letztere nicht mehr nachgeben kann und der ganze Zug, den der Wuchtbaum auszuüben im Stande ist, wirklich auf das Heben des Pfahles hinwirkt.

Wenn der Wuchtbaum auf solche Art endlich in volle Wirksamkeit tritt, so zeigt es sich gemeinhin, dass der Zug nicht genügt, um sogleich den Pfahl herauszureissen, und alsdann steigen einige Arbeiter auf den Wuchtbaum, andere werfen Taue herum und ziehen ihn herab, und es bleibt wohl nicht bei diesem gleichförmigen Zuge, sondern unter lautem Gesange bemühen sich

beide Theile der Mannschaft, den Wuchtbaum in starkes Schwanken zu versetzen und seinen Effect dadurch zu vergrössern. Sind die Arbeiter rüstige Seeleute, wie dieses in Pillau gemeinhin der Fall war, so ist die Gefahr hierbei, selbst wenn zufällig etwas brechen sollte, nicht so bedeutend; ich habe mehrmals hierbei die Kette reissen oder die ganze Rüstung zusammenstürzen sehen, ohne dass auch nur ein einziger Arbeiter sich im mindesten beschädigt hätte. Man muss aber in solchen Fällen es durchaus vermeiden, dass die Leute, wenn auch aus eignem Antriebe, sich auf der Baustelle einer Gefahr aussetzen, denn die wichtigste Rücksicht bei jedem Bau ist die, dass weder das Leben noch die Gesundheit der Arbeiter gefährdet wird.

Schon aus diesem Grunde musste der Apparat abgeändert werden, dazu kam aber noch, dass der grösste Theil der dabei verwendeten Kraft ganz unnütz verloren ging, und endlich genügte die Vorrichtung auch nicht, um diejenigen Pfähle herauszubringen, welche recht fest im Grunde steckten; man liess jedesmal mehrere derselben stehen, indem alle Versuche dabei missglückten. Es waren hierbei gemeinhin achtzehn Mann angestellt, vierzehn derselben zogen den Wuchtbaum auf, indem die Leine vom Flaschenzuge durch ein Block an einem Fusse des Bockes (den Fussblock) gezogen war; zwei Arbeiter standen auf dem vor dem Pfahle schwimmenden Flosse und schlugen die Kette herab und befestigten die Vorsteckbolzen, und endlich sorgten zwei Mann, worunter ein Zimmergeselle war, für die gehörige Lage des Wuchtbaumes. Diese starke Mannschaft konnte durchschnittlich von den Pfählen am hohen Bohlwerke täglich nur $2\frac{1}{2}$ Stück herausziehen. So war diese Arbeit eine sehr kostbare und das Arbeitslohn mit Einschluss der Kosten für Tauwerk u. dergl. betrug etwa zwei Drittel von dem für das Einrammen der Pfähle.

Die Aenderungen, die ich hierbei einführte, sind in Fig. 225 dargestellt; zunächst ist der Wuchtstuhl oder die Unterlage zu erwähnen, auf welcher die Drehungsaxe für den Wuchtbaum befestigt ist. Dieser Stuhl ist in der erwähnten Figur durch die Schraffirung markirt und Fig. 226 zeigt ihn in der Ansicht von oben; er besteht aus einem durch Schraubenbolzen verbundenen Rahmen aus Eichenholz, der sich einestheils leichter unterstützen und fester aufstellen lässt, als ein einzelner Balken, der aber

anderntheils auch mit Sicherheit die eiserne Axe trägt, um welche die Drehung des Wuchtbaumes erfolgt.

Der Wuchtbaum selbst bestand aus einem dreizehnzölligen Balken von Kiefernholz, dessen Länge 35 Fuss betrug; er war mit doppelten Pfannen versehen, damit die Drehungsaxe verändert werden konnte. Diese Pfannen wurden gebildet durch eiserne Schienen, die unten gabelförmig gespalten waren, um die Drehungsaxe zu umfassen, und sie waren jedesmal durch zwei hindurchreichende Schraubenbolzen mit dem Wuchtbaume fest verbunden. Ihre Entfernung vom Ende des Wuchtbaumes betrug 1 und 2 Fuss. Die Axe wurde in die vorderen Pfannen eingebracht, wenn der Pfahl noch sehr fest im Grunde steckte; in diesem Falle übte der Wuchtbaum an sich schon einen Zug von 28500 Pfund aus, hing man aber an sein hinteres Ende einen Rammklotz von $7\frac{1}{2}$ Centner an, so verdoppelte sich schon der Zug und zuweilen musste er durch noch grössere Gewichte sogar verdreifacht werden. Sobald aber der Pfahl sich etwa um einen Fuss gehoben hatte, so verminderte sich schon merklich der Widerstand, wie man am schnellen Sinken des Wuchtbaumes wahrnehmen konnte; alsdann wurde der letztere so weit verschoben, dass die Axe nunmehr in die zweite Pfanne traf und daher bei jedem Zuge der Pfahl noch einmal so hoch stieg, wie früher.

Das Heben des Wuchtbaumes erfolgte mittelst einer Erdwinde; es führte nämlich, wie die Figur zeigt, vom Ende des Wuchtbaumes ein Tau aufwärts nach der Spitze des Bockes, wo eine eiserne Scheibe befestigt war. Von der letzteren ging das Tau über einen Fussblock nach einer Erdwinde. Drei Mann waren vollkommen ausreichend, mittelst dieser Winde den Wuchtbaum zu heben, und indem sie mit einem Hemmtaue die Erdwinde feststellten, so konnten sie sogleich auch die in den Flaschenzug eingeschorne Leine anziehen und dadurch die grosse Kette weiter heraufbringen. Bei Aufstellung des Bockes, womit der Wuchtbaum gehoben wird, muss man auf manche Umstände aufmerksam sein; hierher gehört zunächst die Bedingung, dass die verlängerte Richtung des Taues, woran der Wuchtbaum hängt, bei allen Stellungen des letztern immer innerhalb der Verbindungslinien zwischen den drei Füssen des Bockes fällt. Im entgegengesetzten Falle würde der Bock in Bewegung kommen, oder wohl gar

umstürzen. Ferner muss derjenige Fuss des Bockes, woran die Scheibe befestigt ist, um welche das Tau läuft, in die Erde etwas versenkt werden, weil er sonst beim starken Zuge der Erdwinde fortgerissen wird. Bei jedem einzelnen Pfahle, den man mit diesem Apparate auszieht, muss der Wuchtstuhl, sowie auch der Bock verstellt werden, dagegen kann man die Erdwinde häufig längere Zeit hindurch unverändert stehen lassen und sich mit dem Bocke so weit davon entfernen, als die Länge des Taues dieses zulässt.

Der wichtigste Punkt in der Zusammenstellung des ganzen Apparates ist die **Befestigung der Kette**, und zwar ebensowohl am Pfahle als am Wuchtbaume; jedenfalls muss dabei der Uebelstand vermieden werden, dass die Kette nicht immer nachgiebt und dadurch den Effect des einzelnen Zuges schwächt und oft ganz vernichtet. Hiernach stellte sich die Bedingung, dass die Befestigung an dem Pfahlkopfe nicht jedesmal auf eine andere Stelle übertragen werden durfte, sondern dass die Kette hier, so lange es möglich ist, ganz unverändert bleibt und sie sonach nur an einer einzigen Stelle das Holz comprimirt. Wie stark diese Compression war, gab sich dadurch zu erkennen, dass beim ersten Herabsinken des Wuchtbaumes, wobei eben nur die Kette angespannt wurde, gewöhnlich aus dem anscheinend ganz trockenen Pfahlkopfe eine grosse Menge Wasser ausgedrückt wurde. Die Kette war wieder am untern Ende mit einem Ringe versehen, durch welchen eine Bucht hindurchgezogen und so eine Schlinge gebildet wurde; diese liess man über den Kopf des Pfahles gleiten, stiess sie, nachdem der Wuchtbaum gehoben war, recht fest herab und schlug zwei Spitzbolzen zu ihrer Haltung in den Pfahl hinein; der eine derselben musste es verhindern, dass sie nicht etwa längs dem Pfahle aufwärts gestreift werden konnte, und der andere hielt sie gespannt, sobald der Wuchtbaum wieder gehoben wurde; sie wird nämlich hierbei jedesmal schlaff und würde sich daher, ohne weitere Befestigung, vermöge ihres grossen Gewichtes von selbst lösen. Um eine einfachere Befestigung der Kette gegen den Pfahl darzustellen, versuchte ich es, hierzu einen Ring zu benutzen, wie solcher auch sonst angewendet ist; ich gab ihm die Form, die Fig. 227 zeigt. Der Ring ist nämlich oben und unten mit einem starken Dorne versehen, der

in den Pfahl hineindringt. Ein solcher Ring lässt sich leicht befestigen und er ist auch wieder sehr leicht loszuschlagen, es zeigen sich indessen hierbei manche Uebelstände und namentlich war er für die Pfähle, wo ich ihn gebrauchen wollte, nicht zweckmässig, denn diese Pfähle hatten sehr verschiedene Durchmesser und der Ring musste recht gross gemacht werden, damit er noch auf die stärksten Pfähle aufgezogen werden konnte; bei schwächern Pfählen und besonders wenn sie durch den Einfluss des Wassers und der Luft schon sehr mürbe geworden waren, drückte er sich alsdann so tief ein, dass er eine Stellung einnahm, die sich der senkrechten schon sehr näherte und in diesem Falle war er gar nicht zu halten; er glitt sogleich herauf und brach häufig den Kopf des Pfahles ab. Aus diesen Gründen fand ich es viel zweckmässiger, die Kette unmittelbar umzuziehen; in andern Fällen, wo die Pfähle von gleicher Stärke sind und man also den Ring passend formen kann, wird er wahrscheinlich vortheilhafter sein, wie man dieses auch sonst gefunden hat.

Das gehörige Nachziehen und Anspannen der Kette, welches nach jedem einzelnen Zuge erfolgen muss, konnte hiernach nur auf der Seite des Wuchtbaumes geschehen, und ich wählte dazu eine Einrichtung, wie die vorhandene Kette solche erlaubte; ich erreichte vollkommen den Zweck eines leichten Manövers und einer festen Anspannung; die Kette drückte sich freilich wieder tief in den Pfahl ein, doch geschah dieses nur beim ersten Zuge des Wuchtbaumes, später gab sie nicht mehr nach und die Befestigung ihres obern Endes war so sicher und sie selbst konnte so scharf gespannt werden, dass der Druck des Hebels vollständig auf das Heben des Pfahles hinwirkte. Ein Uebelstand war nur der, dass häufig der Vorsteckbolzen sich verbog, was sich bei der Beschaffenheit der Kette nicht vermeiden liess und was auch weiter keinen Uebelstand hatte, als dass man mehrere Bolzen brauchte, die häufig nach der Schmiede getragen und wieder gerade gemacht werden mussten. Die Kette war in England sehr regelmässig und sauber gearbeitet; sie war 24 Fuss lang und hatte elliptische Glieder ohne Steg; jedes derselben war im äussern Umfange 6 Zoll lang und 4½ Zoll breit, die Stärke des cylindrischen Eisenstabes, aus dem sie geformt war, betrug 1⅛ Zoll. Die Länge der elliptischen Oeffnung im einzelnen Gliede maass sonach 3¾ Zoll

und indem die beiden nächsten Glieder durchgezogen waren, so bildete sich in jedem einzelnen Gliede, sobald die Kette angespannt wurde, ein freier Raum von nur $1\frac{1}{2}$ Zoll Länge, doch konnte man diesen auch nicht ganz für den Durchsteckbolzen benutzen, indem wenigstens $\frac{1}{8}$ Zoll Spielraum gelassen werden musste, und sonach bestimmte sich die Stärke des Durchsteckbolzens, der die Kette halten sollte auf $1\frac{3}{8}$ Zoll, was nur nothdürftig genügte und wodurch das vielfache Verbiegen des Bolzens verursacht wurde. Diese freien Oeffnungen in der Kette waren $4\frac{7}{8}$ Zoll von einander entfernt; wenn man also für den Durchsteckbolzen nur eine einzige Stelle auf dem Wuchtbaume dargestellt haben würde, so konnte es geschehen, dass die Kette, nachdem sie eingespannt war, noch um $4\frac{7}{8}$ Zoll sich zurückziehen liess, ehe sie auf den Pfahl wirkte; dieser Spielraum war viel zu gross, er konnte aber vermindert werden, sobald mehrere Befestigungsstellen für den Durchsteckbolzen vorgerichtet wurden, von denen eine oder die andere passte. Ich wählte deren drei, welche, wie die Figur zeigt, $2\frac{3}{5}$ Zoll von einander entfernt waren. Es ist hier ein ähnliches Prinzip, wie bei den Nonien, in Anwendung gebracht, die doppelte Entfernung der Oeffnungen in der Kette ist in drei Theile getheilt, und da von den vier Theilungspunkten die beiden äussern eine gleiche Stellung gegen die Theilung der Kette haben, so durfte einer derselben fortfallen. Auf diese Art war es möglich geworden, die Kette von $2\frac{3}{5}$ zu $2\frac{1}{5}$ Zoll zu verkürzen, und dieser Spielraum war die grösste Länge, um welche die Kette sich beim Senken des Hebels verlängert haben würde. Fig. 228 zeigt diese Anordnung, es sind zwei hochkantige Schienen von $\frac{7}{8}$ Zoll Stärke mittelst dreier Bolzen an dem Wuchtbaume sehr sicher befestigt; sie stehen so weit von einander ab, dass die Kette noch eben frei durchgezogen werden kann, und in ihnen sind die erwähnten drei Oeffnungen für den Durchsteckbolzen angebracht.

Damit die Kette nicht etwa vom Wuchtbaume herabgleitet und sie sich auch in dem kürzeren Hebelsarme nicht stark eindrücken kann, so ist, wie dieselben Figuren zeigen, am Kopfe des Wuchtbaumes ein Einschnitt gemacht, der eine cylindrisch geformte vertiefte Rille bildet und diese ist mit einem starken Eisenbleche ausgefüttert. Man erlangt dadurch noch den Vortheil, dass die Kette auf diese Art eine viel leichtere Bewegung erhält;

ihr Gewicht ist indessen so gross, dass sie aus freier Hand durch einen oder wenige Arbeiter nicht bewegt werden und namentlich nicht heraufgezogen werden kann. Aus diesem Grunde ist, wie Fig. 225 zeigt, noch ein Flaschenzug angebracht, womit man sie, sobald der Wuchtbaum gehoben ist, heraufzieht. Dieses geschieht durch dieselben Arbeiter, welche die Erdwinde in Bewegung setzen, und nachdem auf solche Art die Kette steif gezogen ist, so sucht der Zimmermann, der auf dem Wuchtstuhle steht und die ganze Arbeit leitet, die passende Oeffnung für den Durchsteckbolzen aus. Ist letzterer eingebracht, so kann die Leine am Flaschenzuge wieder aus der Hand gelegt werden, doch muss man ihr Ende festschlingen, damit der obere Theil der Kette nicht vom Wuchtbaume herabstürzt.

Obgleich die Kette auf solche Art schon sicher befestigt ist, so hat sie noch nicht die erforderliche Spannung und es kann leicht geschehen, dass der Pfahl gegen 3 Zoll weniger hoch gehoben wird, als dieses geschehen wäre, wenn die Kette gleich Anfangs die feste Spannung gehabt hätte. Um diesen Kraftverlust zu vermeiden, so liess ich am Kopfe des Wuchtbaumes unter die Kette noch eichene Keile von beiden Seiten aus einschlagen; diese hoben den Spielraum vollständig auf und zum Beweise, dass sie fest eingetrieben waren, diente ein Schlag mit dem Hammer gegen die senkrecht herabhängende Kette; dieselbe durfte nicht klirren, sondern sie musste den hellen Klang hören lassen, als wenn sie ein fester Stab wäre. War dieses vorbereitet, so konnte die ganze Hubhöhe des Wuchtbaumes auf das Ausziehen des Pfahles benutzt werden.

Der Widerstand, welchen die Pfähle entgegensetzten, war gewöhnlich so gross, dass sie beim ersten Anziehen des Wuchtbaumes nur sehr langsam sich hoben, und häufig schien es, als ob sie trotz des Zuges, der noch durch die Beschwerung des Wuchtbaumes vermehrt wurde, gar nicht zu bewegen wären. In solchen Fällen versuchte ich es, sie in starke Erschütterung zu versetzen, doch konnte ich von diesem Mittel niemals den mindesten Erfolg bemerken; dass ein Schlag mit der Axt gegen den Pfahl nichts nützen kann, wie dieses wohl angerathen ist, lässt sich von selbst übersehen, aber auch ein dreissigfüssiger Balken, den ich an zwei Taue horizontal aufhing und wie einen Mauerbrecher

schwingen und gegen den Pfahl stossen liess, zeigte sich ganz erfolglos. Ebenso zwecklos waren jederzeit die Schläge, die ich mit der Ramme auf den Kopf des Pfahles führen liess, während der Wuchtbaum ihn dauernd aufwärts zog. Dieses letzte Mittel ist mehrfach und angeblich mit grossem Vortheil angewendet, ich habe dadurch nie die geringste Wirkung erreicht und es mag also nicht bei allen Bodenarten gleich vortheilhaft sein. Perronet zog auf diese Art bei der Brücke zu Neuilly die Pfähle der Rüstungen und Fangedämme heraus; es wurden nämlich am Kopfe des Pfahles zu jeder Seite ein einscheibiger Block befestigt und zwei solche befanden sich oben an der Ramme. Die hier eingeschornen Leinen wurden über Winden gespannt, und während man an diesen mit Hebeln die Kraft anbrachte, so liess man den Rammklotz auf den Pfahl herabfallen. Die ganze Anordnung zeigt wohl, dass hierbei kein sonderlicher Widerstand zu überwinden war. Bei den Hafenarbeiten zu Sables d'Olonne benutzte Lamandé nach demselben Prinzipe eine Maschine, welche aus zwei einander entgegengekehrten Wuchtbäumen bestand, die beide auf das Herausziehen des Pfahles wirkten, während zwischen ihnen die Ramme befindlich war, womit man den Pfahl von oben schlagen konnte.*) Gauthey erklärt die Wirksamkeit des Schlages auf das Ausziehen der Pfähle dadurch, dass die eisernen Pfahlschuhe oxydiren, was besonders bei der Berührung mit Seewasser bald erfolgt und sie alsdann die Sand- und Kiestheilchen in der Umgebung mit sich verbinden, woher die Pfähle in diesem Falle auch zuweilen grosse Sandklumpen heraufbringen sollen. Diese Erscheinung findet allerdings statt, doch waren die Stücke Conglomerat, die ich mit den Pfahlschuhen heraufkommen sah, immer nur einige Cubikzolle gross und sie konnten wohl kaum einen merklichen Widerstand verursachen; wenn aber die Ramme nur dazu dienen soll, solche erhärtete Massen zu zerbrechen oder zu lösen, so wird sie in den meisten Fällen gar keinen Erfolg haben können. Ich habe auch immer gefunden, dass der dauernde Zug viel wirksamer war, als alle Erschütterungen, die man anbringen mochte; wenn der Pfahl vom Wuchtbaume nicht gleich gehoben wurde und selbst die am langen Hebelsarme aufgehissten Gewichte nichts fruchteten,

*) Gauthey, *Traité de la construction des Ponts. II. p.* 270.

so brach ich, wenn es möglich war, die Arbeit sogleich ab und beschäftigte die Leute anderweitig, während der Wuchtbaum dauernd den kräftigen Zug ausübte; wenn aber eine solche Unterbrechung nicht füglich eintreten konnte, so liess ich den Wuchtbaum an andere Pfähle schieben, und bevor die Arbeit am Abende aufhörte, wurde noch der Zug gegen den ersten Pfahl dargestellt. Der Erfolg war jedesmal der, dass der Wuchtbaum am nächsten Morgen sich bis zum Boden gesenkt und den Pfahl etwas gehoben hatte, und diese Bewegung war niemals plötzlich eingetreten, sondern ganz unmerklich ging sie vor sich. Schon bei Gelegenheit des Rammens ist es erwähnt worden, wie in jedem Boden, der einigermaassen die Eigenschaften eines dickflüssigen Körpers hat, der dauernde todte Druck weit wirksamer ist als der Stoss; am wenigsten sollte man dieses noch beim Sandboden erwarten, da ich es aber auch hier bestätigt gefunden habe, so möchte ich den Vortheil des Stosses überhaupt bezweifeln. Man wendet ihn an, um nicht müssig dem langsamen Erfolge entgegensehen zu dürfen, und wenn vielleicht ganz unabhängig von dieser Beihülfe die Bewegung endlich eintritt, so ist man gewiss sehr geneigt zu glauben, dass sie hierdurch veranlasst wurde.

Wenn der Pfahl sich etwas gehoben hat und der Wuchtbaum anfängt, bei jedem Zuge schnell herabzusinken, so verstellt man den Wuchtbaum, so dass die Drehungsaxe in die hintern Pfannen kommt, oder dass der kürzere Hebelsarm sich auf 2 Fuss verlängert. Alsdann erfolgt das Aufsteigen des Pfahles viel schneller, und wenn endlich auch in diesem Falle wieder der Wuchtbaum mit grosser Geschwindigkeit niedersinkt, so wird die schwere Kette ganz fortgenommen und eine leichtere Kette am Pfahle und am untern Blocke des Flaschenzuges, der auf dem Wuchtbaume liegt, befestigt und die Arbeiter ziehen den Pfahl vollends aus dem Grunde, bis er auf dem Wasser frei schwimmt.

Es waren bei diesem Wuchtbaume im Ganzen sechs Mann und darunter ein Zimmergeselle angestellt, nämlich drei Mann an der Erdwinde, ein Arbeiter stand auf dem Flosse und hatte dafür zu sorgen, dass die Kette sich nicht vom Pfahle löste, und der fünfte nebst dem Zimmermanne standen auf dem Wuchtstuhle, sie trieben die Keile ein, versetzten die Versteckbolzen u. dergl., der Arbeiter vom Flosse konnte aber, sobald der Knoten der Kette

sich recht fest gezogen hatte, noch zur Hülfe der andern Arbeiter an die Winde gehen. Es wurden auf diese Art von den schwersten Pfählen täglich durchschnittlich 4 Stück gehoben, und so hatte hier die Aenderung des Apparates die Folge, dass nicht nur die Anzahl der dabei beschäftigten Arbeiter auf den dritten Theil vermindert, sondern ausserdem noch die Arbeit beschleunigt wurde. An den Bohlwerken der beiden Hafen-Bassins hatte man bei früheren Reparaturen und Neubauten die alten Pfähle immer im Grunde stecken lassen, indem das Ausziehen derselben zu kostbar gewesen war; mit diesem veränderten Wuchtbaume boten jedoch die Pfähle, die hier nur 36 Fuss lang waren, so wenig Widerstand, dass sie beim ersten Einstellen sogleich sehr willig folgten; wenn daher wegen ungünstiger Witterung eine andere Arbeit unterbrochen wurde, oder sonst auf einige Zeit ein Theil der Tagelöhner nicht gehörig beschäftigt werden konnte, so stellte ich sie am Wuchtbaume an und liess sie solche alte Pfähle ausziehen. Sie hoben an einem Tage 8 bis 12 Stück derselben und es wurde dadurch nicht nur der Hafen gereinigt, sondern noch eine Menge Holz gewonnen, welches zwar weicher als das frische Holz war, das aber dennoch zu allen Rüstungen und vielen andern Zwecken mit vielem Vortheile verbraucht werden konnte.

Es ist in der vorstehenden Beschreibung der Erdwinde gedacht worden; da dieses eine sehr kräftige, leicht darzustellende und leicht zu transportirende Maschine ist, welche auf den Baustellen vielfach angewendet werden kann, so will ich ihre Construction und die Art ihres Gebrauches hier mittheilen. Fig. 229 *a* und *b* zeigt sie in der Ansicht von der Seite und im Grundrisse; in dem Grundrisse ist die Spindel oder die senkrechte Welle herausgenommen gedacht, welche sich aus Fig. 229 *a* mit hinreichender Deutlichkeit ergiebt. Die Zusammensetzung des Rahmens zeigen die Figuren, man lässt zuweilen die beiden Schwellen auf der dem Zuge entgegengesetzten Seite sich in eine Spitze vereinigen und überblattet sie hier, wodurch der Rahmen noch etwas mehr Festigkeit erhält. Der Zug, der durch die Richtung des Taues bestimmt wird, entfernt sich zuweilen bis 2 Fuss oder auch wohl noch mehr von dem Boden, und es entsteht alsdann die Gefahr, dass die beiden Stiele unten herausgerissen und um das untere Ende der Streben gedreht werden möchten; aus diesem

Grunde ist es gut, eine gekröpfte eiserne Schiene gegen die Stiele zu nageln und sie um die Schwelle herumzuführen, oder diese Schienen unten in einen Bolzen ausgehen zu lassen, der durch die Schwelle hindurchgreift und hier mit einer Schraubenmutter gehalten oder auch nur vernietet wird. Die Befestigung geschieht sonst in allen Theilen nur mit starken Nägeln, und wo eine Bohle gegen die andere genagelt ist, da wird die Spitze des Nagels abgekniffen, eine Niethscheibe aufgesetzt und darin der Nagel breit geschlagen; die Verbindungen dieser Art sind beim Schiffsbau ganz gewöhnlich, und wie die Erfahrung lehrt, sehr fest und dauerhaft. Die Spindel steht mit dem untern Zapfen in einem Zapfenloche des mittlern untern Riegels auf und mit dem Halse liegt sie in einem passenden Einschnitte des obern Riegels. Eisenbeschläge kommen hier gar nicht vor, es befindet sich nur ein eiserner Ring über dem viereckigen Kopfe der Spindel und derselbe dient nur dazu, das Aufspalten zu verhindern. Der Druck, welchen das Tau ausübt, wirkt immer dahin, die Spindel mit ihrem obern Halse fest in den Einschnitt des Riegels hineinzudrücken, es ist daher ein Herausfallen derselben beim Gebrauche der Winde ganz undenkbar, aber auch wenn die Winde gerade nicht gebraucht wird, so steht die Spindel mit ihrem Fusse auf dem untern Riegel ganz sicher auf. Aus diesem Grunde ist ein Bügel oder Ueberwurf am Halse entbehrlich und es kommt ein solcher bei den meisten Erdwinden auch nicht vor. Die eigenthümlich ausgeschmiegte Form im untern Theile der Spindel wird durch die Benutzungsart der Winde bedingt.

Will man die Winde anwenden, um etwa einen sehr schweren Körper weiter zu ziehen, oder ihn auf eine flache geneigte Ebene zu heben, so kommt es zunächst darauf an, die Winde so fest zu stellen, dass sie nicht etwa selbst fortgezogen wird. Das gewöhnliche Mittel hierzu ist dieses, dass man eine Menge kleiner Pfählchen vor die Riegel der Winde in den Boden einschlägt, wie die Figur 4 derselben zeigt. Zuweilen genügt dieses aber nicht und man muss alsdann durch eine Kette, die um den hintersten Riegel geschlungen ist, sie an einem andern Gegenstande befestigen, wie z. B. an einem Baume oder einem starken Pfahle, auch wohl an einem eingegrabenen schweren Schiffsanker u. dergl. Ist in dieser Art das Gestelle in der gehörigen Richtung

und recht sicher befestigt, so setzt man die Spindel ein, versieht sie mit den Durchsteckarmen und schlingt das Tau, welches angezogen werden soll, um den dünnsten Theil der Spindel herum. Man macht gewöhnlich drei Windungen, doch zuweilen auch nur zwei, und wenn der Druck sehr gross ist, auch wohl vier; diese Windungen müssen aber so gerichtet sein, wie Fig. 229 *a* angiebt, nämlich so, dass beim Anziehen des Taues dasselbe sich immer höher auf die Spindel herauflegt. Das lose umgeschlungene Tau würde beim Umdrehen der Winde gar nicht fortgezogen werden, wenn nicht an dem hintern freien Ende desselben einige Spannung stattfände; um diese darzustellen, sitzt ein Arbeiter auf dem hintern Riegel der Winde, das Gesicht nach der Spindel gekehrt, die Durchsteckarme gehen über seinem Kopfe fort, so dass er deren Bewegung nicht hindert. Nun ist es bekannt, dass die Reibung eines Taues, welches um eine Welle geschlungen ist, sich mit der Vermehrung der Windungen ausserordentlich vergrössert; ein Gegendruck von einem Pfunde ist schon hinreichend, die Reibung so zu vergrössern, dass sie bei drei Windungen einen Widerstand von mehr als 5 Centnern ausübt und bei vier Windungen schon von mehr als 40 Centnern. Auf solche Art kann der eine Arbeiter ohne grosse Anstrengung das Tau gehörig fest anziehen, und wie das Ende, welches er in der Hand hält und spannt, sich verlängert, so schiesst er es zugleich regelmässig auf, so dass es nach gemachtem Gebrauche sogleich fortgetragen und anderweitig benutzt werden kann. Nun rücken aber die Windungen des Taues immer höher an der Spindel herauf und es würde endlich hierdurch die Arbeit ganz unterbrochen werden, wenn nicht von Zeit zu Zeit das sogenannte Schrecken erfolgte; der erwähnte Arbeiter ruft nämlich der übrigen Mannschaft zu, dass sie anhalten solle, und gleich darauf schiebt er das Ende, das er in der linken Hand hält, etwas vor, die sämmtlichen Windungen lösen sich dadurch augenblicklich und da der Durchmesser der Spindel sich nach unten zu stark verjüngt, so kann derselbe Arbeiter leicht mit der rechten Hand das Tau wieder auf die dünnste Stelle der Spindel herabdrücken. Es erfolgt diese ganze Operation, wenn der Arbeiter geübt ist in der Zeit von etwa einer Secunde, und es wäre dabei das Anhalten der Winde gar nicht nöthig, wenn man nicht vermeiden wollte, dass bei dem plötzlichen

Aufhören des Widerstandes die sämmtlichen Arbeiter, sobald dieses ganz unerwartet geschähe, hinfallen könnten.

Um den Effect dieser Winde zu beurtheilen, so muss bemerkt werden, dass die Reibung, die hier nur Axenreibung ist, ziemlich unbedeutend bleibt. Die Arbeiter entwickeln aber an den Hebelsarmen, die sie vor sich schieben, ohne grosse Anstrengung die Kraft von etwa 60 Pfunden, und wenn es nöthig ist und sie sich weit vorbiegen, so steigert sich dieselbe leicht auf das Doppelte und man kann sonach durch vier Mann einen Zug von 30 bis 60 Centnern ausüben; da aber theils durch längere Arme und theils durch Vermehrung der Mannschaft diese Kraft sich aufs Neue steigert, ohne die Maschine wesentlich zu verändern, so ergiebt sich hieraus die grosse Wirksamkeit dieses so leicht darzustellenden und sehr wohlfeilen Apparates.

Das Material, woraus die Erdwinde gebaut wird, ist Eichenholz, die Durchsteckarme müssen aber nicht aus starken Stämmen ausgeschnitten sein, sondern vielmehr in schwachen Bäumen bestehen, die nur etwas beschnitten sind; am besten ist es, hierzu junge Birkenstämme zu benutzen, die wegen ihrer Zähigkeit einem Bruche am wenigsten ausgesetzt sind. Man kann diese leicht auf 24 Fuss verlängern, so dass jeder einzelne Arm 12 Fuss lang wird und alsdann finden 16 Mann an der Winde Platz und sie können ihre volle Kraft der Spindel mittheilen, ohne dass ein Bruch erfolgt.

Bei der in Rede stehenden Anwendung der Erdwinde zum Heben des Wuchtbaumes braucht man jedesmal nur etwa 5 Umdrehungen zu machen, alsdann wird die Winde, wenn der Wuchtbaum sinkt, auch wieder zurückgedreht und dieses wiederholt sich immer in gleicher Art. Man kann hier, wie in allen ähnlichen Fällen, denjenigen Arbeiter, der das hintere Ende des Taues hält, entbehren, indem man eben dieses Ende an die Spindel annagelt, dabei ist es aber zweckmässig, eine cylindrische Spindel zu benutzen, wodurch man den Vortheil erreicht, dass der nöthige Druck gegen die Durchsteckarme viel gleichmässiger ist. Es kommt hier aber noch der Umstand in Betracht, dass, wenn die Winde für mehrere Pfähle unverändert stehen bleibt, das Tau nicht immer die passende Länge hat; dieses beseitigt sich aber,

wenn man jedesmal den Wuchtbaum an einer andern Stelle des Taues befestigt und das übrigbleibende Ende des letzteren auf dem Wuchtbaume liegen lässt und es vielleicht mit einer dünnen Leine am Haken festbindet, damit es nicht beschädigt wird. So entgeht man auch der Verlegenheit, ein langes Tau zu diesem Zwecke zerschneiden zu dürfen.

Die Anwendung des Wuchtbaumes zum Ausziehen der Pfähle wird besonders in dem Falle sehr schwierig und fast unmöglich, wenn einzelne Pfähle in tiefem Wasser eingerammt sind und sich sonach nicht leicht ein fester Stützpunkt für den Hebel darstellen lässt. Wenn man nicht starke Rüstungen bauen will, so ist man auf die Benutzung von Schiffen oder kleineren Fahrzeugen hingewiesen. Die Art, wie diese zum vorliegenden Zwecke gebraucht werden, verdient wohl eine nähere Auseinandersetzung, da sie namentlich bei leicht eingerammten Rüstpfählen das Manöver ausserordentlich erleichtern.

Dass man auch auf Schiffen den Wuchtbaum benutzt, ist keineswegs ohne Beispiel, doch erfordert dieses immer eine feste Rüstung, um nicht einen einzelnen Theil des Fahrzeuges einer zu starken Belastung auszusetzen, denn das verschiedenartige Eintauchen, welches sich hierbei sogleich zeigt, erschwert die ganze Arbeit ausserordentlich. Das Heben der Pfähle mittelst Winden kann ohne grosse Umstände auch von Fahrzeugen aus geschehen und zwar um so leichter, als dieselben gewöhnlich mit kräftigen Windevorrichtungen zum Heben der Anker u. dergl. versehen sind; in dieser Art wurden, wie bereits erwähnt worden, die alten Rostpfähle beim Hafenbau in Amsterdam fortgeschafft. Wenn man aber dieses Mittel anwendet, so ist man immer nur auf diejenige Kraft beschränkt, welche die Windevorrichtung selbst auszuüben im Stande ist, und diese genügt gemeinhin nicht, um recht fest eingerammte Pfähle zu heben. Man kann indessen einen sehr starken Zug hervorbringen, wenn man den hydrostatischen Druck, den ein grosses Fahrzeug erfährt, selbst zum Ausziehen des Pfahles benutzt, und hierdurch kann man allerdings einen sehr bedeutenden Widerstand überwinden. Beladet man also ein Schiff, so dass es recht tief eintaucht, und befestigt alsdann an einer angemessenen Stelle desselben die um den Pfahl geschlungene Kette, so wird das Schiff, sobald die Ladung

herausgenommen ist, mit einer sehr starken Kraft den Pfahl aufwärts ziehen und denselben heben. Am einfachsten macht sich dieses, wenn man das Schiff voll Wasser laufen lässt und letzteres später auspumpt, in ähnlicher Art, wie bei Amsterdam mittelst der sogenannten Cameele die sehr tief gehenden Schiffe gehoben werden. Man kann hierbei auch die Abwechselungen des Wasserstandes benutzen, wenn dieselben sich vermöge der Ebbe und Fluth in kurzen Perioden wiederholen. Auf solche Art sah ich bei Hamburg Pfähle ausziehen; es wurden nämlich zwei Kähne zu beiden Seiten des Pfahles gestellt, durch eine starke Balkenrüstung mit einander verbunden, um die Last möglichst gleichmässig zu verbreiten und hieran zur Zeit des niedrigsten Wasserstandes der Pfahl befestigt. Wie das Wasser zu steigen begann, so äusserte sich der hydrostatische Druck desselben gegen die Kähne, die nicht sogleich weichen konnten und erst alsdann sich hoben, als bei dem immer zunehmenden Drucke zuletzt der Pfahl nachgab. Dieses Verfahren möchte leicht sehr vortheilhaft scheinen, da man eine Naturkraft benutzt, welche keine Kosten verursacht; der Vortheil ist aber in der That nicht gross und gewiss möchte es viel wohlfeiler sein, einen Wuchtbaum anzuwenden, wenn man denselben überhaupt hier anbringen könnte. Fürs Erste ist schon der Zeitverlust sehr unangenehm, da man in einem Tage mit dem sehr kostbaren Inventarium, nämlich mit zwei Schiffen, höchstens nur zwei und gewöhnlich sogar nur einen Pfahl heben kann. Sodann aber sind die Kosten eben wegen der Schiffsmiethe auch sehr gross, und es tritt noch die Gefahr ein, dass der Pfahl bei einem gewissen Zuge nicht nachgiebt und die Fahrzeuge wegen der so höchst ungleichmässigen Belastung stark leiden und wohl gar durchbrechen.

Wenn nur leicht eingerammte Rüstpfähle ausgezogen werden sollen, so kann man solche namentlich mit grossen Seeböten, die immer recht stark gebaut sind, ausziehen und zwar am besten, indem man die Zugkette am vordern Ende befestigt, wo das Boot wegen des vollen Busens am meisten trägt. Davy beschreibt in dem mehrfach allegirten Werke eine gewiss sehr zweckmässige Vorrichtung dieser Art; es wird nämlich auf dem Boden eines solchen Bootes der Länge nach eine Eisenbahn angebracht und darauf steht ein Wagen, der eine recht grosse Last trägt; durch

Winden kann man den Wagen von einem Ende nach dem andern ziehen. Man schiebt ihn zunächst nach vorn und bringt die um den Pfahl geschlungene Kette über das Spill oder die horizontale Winde und zieht die Kette recht steif an. Alsdann bringt man den Wagen ans hintere Ende des Fahrzeuges, wodurch das vordere Ende vom Wasser aufwärts gedrückt wird. Sobald der Pfahl nachgegeben hat, schiebt man den Wagen wieder nach vorn und zieht die Kette von Neuem an und so fort.

Ein ähnliches Verfahren habe ich zum Ausziehen der Rüstpfähle in tiefem Wasser vielfach in Pillau angewendet; zum Bau-Inventarium gehörte ein recht fest gebautes Fahrzeug, das ursprünglich zu einem englischen Ballastbagger bestimmt war. Ich liess in dieses etwa eine Last Ballast hineinbringen und bemannte es mit etwa sechs Arbeitern; der Ballast lag Anfangs ganz vorn und sonach neigte sich das Fahrzeug auch in dieser Richtung stark über. In dieser Stellung wurde die Kette am Spill steif angezogen, alsdann mussten die Leute den Ballast an das hintere Ende herüberwerfen, dabei hob sich gewöhnlich schon der Pfahl, ehe die ganze Last versetzt war, und wenn dieses nicht geschah, so liess ich durch das Fahrzeug den verticalen Zug dauernd ausüben, während die Leute anderweitig beschäftigt wurden. Nachdem der Ballast einige Male umgeworfen und dabei die Kette immer von Neuem angezogen war, so war der Pfahl so weit gelöst, dass er ziemlich schnell folgte, ohne dass er jedoch schon durch das Spill allein gehoben werden konnte. Waren die sämmtlichen Pfähle so weit gebracht, so wurde der Ballast fortgeschafft, wodurch das Fahrzeug eine viel grössere Beweglichkeit erhielt, und statt des Ballastes benutzte ich nunmehr nur das Gewicht von etwa zwölf Arbeitern. Diese mussten sich zuerst möglichst weit nach vorn stellen und nachdem die Kette des Pfahles angezogen war, gingen sie nach hinten, worauf der Pfahl sich hob; die Kette wurde wieder steif gezogen und so fort. Der Pfahl wurde hierdurch sehr schnell gelöst, so dass er vollends mit der Ankerwinde herausgezogen werden konnte.

§. 43.
Darstellung der Baugrube.

Wenn man bei der Aufstellung eines Bauprojectes sich für eine gewisse Fundirungsart entschieden und die Lage und Ausdehnung des Fundamentes bestimmt hat, so ergiebt sich hieraus die erforderliche Grösse der Baugrube, sowie auch die Tiefe, in der diese ausgehoben werden muss. Gemeinhin darf man das Aufgraben nicht weiter als bis zur untern Grundfläche des Fundamentes ausdehnen, und nur bei Pfahlrosten wird man, um die Pfähle mit Zapfen versehen und die Rostschwellen aufbringen zu können, die Vertiefung etwas unter den eigentlichen Rost herabtreiben, da jedoch auch dieser untere Raum nicht mit der ausgegrabenen Erde wieder verschüttet, sondern entweder mit einem festen Thonschlage oder mit Mauerwerk ausgefüllt wird, so kann man letzteres schon als einen Theil des Fundamentes betrachten, und sonach wird selbst in diesem Falle die Baustelle bis zu der Tiefe aufgegraben, wo das Fundament beginnt. Die Länge, sowie die Breite der Baugrube, muss jedesmal grösser als die des eigentlichen Fundamentes sein, und namentlich ist dieses der Fall, wenn bei der Fundirung bedeutende Rammarbeiten vorkommen, weil diese durch eine starke Beschränkung des Raumes gewöhnlich sehr erschwert werden. Am besten ist es, dass man auf dem Grundrisse selbst nachmisst, wie weit die Baugrube sich seitwärts erstrecken muss, um jeden einzelnen Pfahl bequem einrammen und zugleich die übrigen erforderlichen Apparate, wie etwa die Wasserhebungsmaschinen, Wuchtbäume, Böcke, Rüstungen und dergleichen aufstellen zu können. Bei grossen Fundirungen wird man mindestens einen freien Raum von 5 Fuss gebrauchen, der sich in der Sohle der Baugrube rings um den Rost herumzieht, doch fehlt es nicht an Beispielen, dass man ihn auch sehr viel grösser gewählt hat und namentlich hat dieses Perronet jedesmal gethan. Eine zu grosse Erweiterung der Baustelle hat aber den Nachtheil, dass der Zudrang des Wassers auch in demselben Maasse sich zu vermehren pflegt, wodurch nicht nur die Kosten für das Schöpfen vergrössert, sondern auch der Baugrund verdorben wird. Um einen sehr starken Wasserzudrang zu verhindern,

ist es nicht ungewöhnlich, dass man die Baugrube in mehrere Theile zerlegt; jede einzelne Abtheilung derselben lässt sich alsdann durch Anwendung der sämmtlichen vorhandenen Schöpfmaschinen viel leichter trocken legen, als dieses mit der ganzen Baugrube möglich war. Es zeigt sich hierbei indessen der Uebelstand, dass zwischen den verschiedenen Theilen des Fundamentes kein gehöriger Verband dargestellt werden kann und dieses ist besonders bei solchen Bauwerken sehr bedenklich, von denen man eine vollständige Wasserdichtigkeit verlangt und wo die einzelnen Theile vielleicht keine grosse Breite erhalten dürfen. Dieses wäre z. B. bei den Schiffsschleusen der Fall, wo man eine Trennung des Grundbaues, soviel es möglich ist, immer gern vermeidet. Bei andern Bauwerken, die aus vollen Mauermassen bestehen und wo man von dem Fundamente mehr die sichere Unterstützung des darüber gestellten Baues als Wasserdichtigkeit erwartet, da kann eine solche Trennung von keinem wesentlichen Nachtheile sein, und häufig bringt die Anordnung des ganzen Baues es schon mit sich, dass die tragenden Theile nicht unmittelbar neben einander liegen und sie sonach besondere Fundamente erhalten müssen, wie dieses z. B. bei den grössern Brücken fast immer geschieht.

Zu der Theilung der Baugrube giebt zuweilen auch der Umstand Veranlassung, dass man nicht auf einmal den Bau in seiner ganzen Ausdehnung ohne Störung der Communication oder Hemmung eines Wasserlaufes in Betrieb setzen kann. Um hiervon ein Beispiel anzuführen, so ist zu erwähnen, dass bei der Brücke zu Moulins über den Allier, wo die sämmtlichen Pfeiler eine zusammenhängende Fundirung erhielten, eine Trennung in der Art vorgenommen wurde, dass man das Bette des Flusses erst auf die eine und alsdann auf die andere Seite verlegte.

Die Seiten der Baugrube dürfen nur in dem Falle, wenn der Boden aus Felsen besteht, sich senkrecht erheben, sonst müssen sie diejenige Neigung erhalten, in welcher die Erdart sich noch sicher trägt. Die Vorausbestimmung dieser Neigung ist insofern oft schwierig, als manche Erdarten viel fester zu sein scheinen, als sie wirklich sind; namentlich findet dieses bei gewissen Gattungen von Thon statt, die beim ersten Abstecher sich beinahe senkrecht und oft sogar überhängend erhalten, die

aber, wenn sie längere Zeit hindurch dem Einflusse der Luft und der Witterung blos gestellt gewesen sind, so stark abfallen, dass sie zuletzt ebenso flach geböscht sind, wie der trockne Sand. In dieser Beziehung kann es bei einem recht fetten Thone, der beim Trocknen vielfache Risse bekommt und abbröckelt, sogar zur Verminderung der Kosten beitragen, wenn man ihn mit einer dünnen und etwas geneigten Einfassungsmauer umgiebt; man braucht dabei, wie Perronet bemerkt, für einen guten Mörtel keineswegs zu sorgen, denn eben dieser Thon vertritt schon sehr gut die Stelle desselben und die rückwärts geneigte Lage der einzelnen Steinschichten verhindert es, dass nichts davon herausfallen kann. In andern Mischungsverhältnissen und namentlich bei einem starken Zusatze von Kalk saugt der Thon mit Leichtigkeit eine grosse Menge Wasser ein und er nimmt dabei vollständig die Eigenschaften einer Flüssigkeit an, so dass er nach und nach eine horizontale Oberfläche bildet. Dieses ist derjenige Baugrund, worin es am schwersten ist, eine Grube zu eröffnen, durch Absteifungen kann man ihn wohl einige Zeit hindurch zurückhalten, doch erfordert dieses eine sehr feste Verstrebung und zugleich eine ziemlich dichte Umschliessung; das sicherste Mittel ist es also, die Veranlassung zu der gefährlichen starken Durchnässung des Bodens zu verhindern, indem man die Quellen, die hineintreten könnten, abfängt und anderweitig ableitet, und demnächst, dass man den Bau möglichst beschleunigt, um die Baugrube recht bald wieder verfüllen zu können.

Perronet *) giebt in Betreff der Dossirungen, welche verschiedene Erdarten annehmen, manche interessante Bemerkungen; der Töpferthon steht kürzere Zeit hindurch bis auf 30 Fuss Höhe ganz senkrecht und sogar überhängend. Frische Gartenerde, die noch nie umgegraben wurde und manche Sandarten, welche eine starke Beimischung von Thon enthalten, stehen auch noch beinahe senkrecht, dagegen nimmt der feine und trockne Sand sogleich eine Neigung an, die nur unter 30 Graden gegen den Horizont ansteigt. Wenn man dagegen in einer aufgeschütteten Erde gräbt, oder wenn man die ausgehobene Erde auf einen Haufen wirft, so gelingt es bei den festeren Bodenarten nicht mehr, so steile

*) *Sur les éboulements* in der *Description des Ponts. p.* 631 ff.

Neigungen darzustellen, wie beim ersten Abgraben vorkamen. Der reine Sand behält in beiden Fällen dieselben Neigungen, während der Thon und die andern Erdarten sich höchstens unter einem Winkel von 30 bis 36 Graden gegen den Horizont aufbringen lassen; eine Ausnahme macht allein der grobe Kies oder Steinschutt, der noch unter einem Winkel von 45 Graden aufgeschüttet werden kann.

Indem nun die frische Erde durch längere Berührung mit der Luft die Eigenschaften verliert, wodurch sie Anfangs sich so steil erhalten konnte, so wird man in den Fällen, wo man sicher gehen will und wo die Baugrube lange geöffnet bleiben soll, den Wänden nur die Neigung von 36 bis 30 Graden oder die $1\frac{1}{3}$ bis $1\frac{3}{4}$fache Anlage geben dürfen. Gemeinhin begnügt man sich indessen, den Neigungswinkel zu 45 Graden anzunehmen und oft macht man ihn noch grösser; man giebt nicht selten den Wänden eine $\frac{3}{4}$fache Anlage oder man lässt sie auf 3 Fuss Länge um 4 Fuss ansteigen.

Mitunter ist es in ähnlicher Art, wie bereits bei Gelegenheit der Ausführung der Brunnen und Entwässerungsgräben bemerkt worden, gar nicht möglich, die Baugrube in einer gewissen Tiefe darzustellen und sie zugleich vom Wasser frei zu halten, indem dieses beim starken Zudrange immer die Erde mit sich reisst und die Grube von Neuem anfüllt. In diesem Falle muss man von der gewöhnlichen Fundirungsart abgehen und entweder die Trockenlegung der Baugrube ganz vermeiden, oder doch wenigstens sie nicht früher eintreten lassen, bis man den losen und aufquellenden Boden mit einer schweren Schicht bedeckt hat. Beides kommt zuweilen vor, die Vertiefung des Grundes kann aber, da kein Wasserschöpfen während dieser Arbeit eintreten darf, nur mittelst B a g g e r n erfolgen; hierdurch vermeidet man die Senkung des Wasserspiegels und sonach auch den Zudrang des Wassers, und die Ufer halten sich viel steiler wie früher, indem sie durch den starken Gegendruck gestützt werden. Die Fundirung selbst geschieht alsdann auf einem Roste, dessen Pfähle man unter Wasser abschneidet und der bis auf dieselben versenkt wird, wie dieses bereits beschrieben ist, oder es werden Caissons gewählt, oder endlich kann man auch die Baugrube mit einem Bétonbette bedecken. Von diesen beiden letzten Fundirungsarten wird später die Rede sein.

Gewöhnlich lässt man die Seitenwände der Baugrube nicht ohne Unterbrechung bis zur Sohle herabreichen, sondern man bringt vielmehr dazwischen in verticalen Abständen von etwa 6 Fuss unter einander noch Bankete von 4 bis 6 Fuss Breite an; durch diese wird die Neigung der Wände noch mehr verflächt und man erreicht sonach eine um so grössere Sicherheit gegen das Einstürzen der Dossirungen. Dabei treten zugleich noch andere Vortheile ein; wenn nämlich hin und wieder einzelne Theile in den Wänden nachgeben und herabfallen sollten, so werden sie nicht mehr bis auf die Sohle der Grube stürzen, sondern schon auf dem nächsten Banket liegen bleiben. Auch kann man diese Bankete sehr zweckmässig zum Aufstellen mancher Utensilien und einiger Materialien benutzen; es wird also dadurch der Baugrube noch etwas mehr Räumlichkeit gegeben, doch muss man sich hüten, nicht zu grosse Lasten darauf zu bringen, weil die Bankete sonst unter denselben leicht nachgeben. Diese Vortheile werden in vielen Fällen, und namentlich wenn die Baugrube längere Zeit hindurch geöffnet bleibt, für so wichtig gehalten, dass man die Mehrkosten, welche die Darstellung der Bankete verursacht, nicht zu scheuen pflegt.

Hiernach lässt sich nun die Grösse der Baugrube und der cubische Inhalt der auszuhebenden Erdmasse bestimmen, man muss aber gleichzeitig für die passende Ablagerung dieser Erde Sorge tragen und dabei besonders einen weiten Transport und ebenso ein mehrmaliges Versetzen der Erde vermeiden. Der letzte Umstand ist besonders nachtheilig, denn die wiederholten Erdtransporte stellen sich insofern sehr kostbar heraus, als das Auf- und Abladen dabei unnöthigerweise wiederholt wird, und dieses ist gewöhnlich eben so theuer und bei kleinen Transportweiten sogar noch theurer, als das eigentliche Verkarren oder Verfahren der Erde. Um in dieser Beziehung ganz sicher zu gehen, so ist es nöthig, dass man vorher die Erdmasse berechnet, welche man zum spätern Ausebnen der Baugrube braucht, und dieses Quantum muss möglichst in der Nähe abgelagert werden, jedoch an eine Stelle, wo es nicht hinderlich ist. Der übrige Theil des Abtrages dagegen, von dem man keinen weitern Gebrauch macht, ist sogleich beim ersten Aufladen auf die Karre oder den Wagen ganz zu beseitigen und entweder zum Verfüllen von andern Un-

ebenheiten zu benutzen, oder er wird vielleicht, um keine der Cultur nachtheilige Erhöhung zu bilden, auf passenden Stellen verbreitet; dabei müssen natürlich die übrigen localen Verhältnisse berücksichtigt werden, damit die Transportkosten und Grundentschädigungen immer möglichst niedrig bleiben. Noch ist darauf aufmerksam zu machen, dass diejenige Erdmasse, welche man auf der Baustelle wieder verwenden will und welche zur Erleichterung des Transportes nicht weit verfahren wird, gewöhnlich nicht unmittelbar am Rande der Baugrube aufgeschüttet werden darf, weil sie in solchem Falle, besonders wenn der Boden thonig ist, durch den grossen Druck, den sie verursacht, leicht die Dossirungen heraustreiben könnte. Auf diesen Umstand ist man häufig nicht gehörig aufmerksam und manche unangenehme Folgen geben sich alsdann zu erkennen, welche den Bau sehr erschweren. Bei Sand- und Kiesboden ist eine solche Rücksicht weniger dringend, doch darf man auch in diesem Falle nicht vergessen, dass die frisch aufgeschüttete Erde nie eine grössere und gewöhnlich eine geringere Festigkeit hat, als die eigentliche Wand der Baugrube; dieselbe flache Dossirung, die man also der letztern zu geben für nöthig findet, muss im günstigsten Falle auch die erhöhte Erdschüttung erhalten, und auch hier ist die Anbringung von Banketen eben so nöthig, wie sie es dort waren. Bei sandigem Boden kann die Aufschüttung neben der Baugrube noch den Uebelstand herbeiführen, dass der Sand, sobald er zu trocknen anfängt, wieder in die Grube geweht wird, man muss daher wenigstens dafür sorgen, dass die Schüttung nicht auf der Seite liegt, von wo der Wind am häufigsten kommt.

Ueber die vortheilhafteste Anordnung der Erdarbeiten soll später bei Gelegenheit des Canalbaues die Rede sein; die Methode des Steinsprengens und das Heben grosser Steine und dergleichen wird aber am passendsten in dem Abschnitte über die Aufräumung der Flussbette behandelt werden, hier wäre nur in Bezug auf die Erdtransporte Einiges zu erwähnen. Beim Ausheben einer Baugrube kommt nämlich häufig der eigenthümliche Fall vor, dass man sehr bedeutende Erdmassen immer zwischen denselben Punkten zu bewegen hat; bei Canälen und andern weit ausgedehnten Anlagen wird die zu transportirende Erde von sehr verschiedenen Stellen entnommen und nach andern Stellen geführt, die von

einander ebenso entfernt liegen, hier dagegen ist der Ort, von wo der Transport ausgeht, der beschränkte Raum der Baugrube und oft ist der grösste Theil oder vielleicht die ganze Erdmasse nach einer ebenso beschränkten Fläche in der Nähe zu verfahren. Wenn man hier eine Vorrichtung zur Erleichterung des Transportes anwendet, so kann dieselbe für die ganze Dauer dieser Arbeit gebraucht werden, ohne dass man sie viel zu verstellen nöthig hat. Es empfiehlt sich also gerade hier vorzugsweise die Anwendung von leichten Eisenbahnen und solche sind in diesem Falle häufig mit grossem Vortheile benutzt. Es ist dabei auch der Umstand von Wichtigkeit, dass gewöhnlich das Material stark gehoben werden muss; wollte man dieses dadurch bewirken, dass man die Pferde unmittelbar vor die Wagen spannt, so würde ihr Effect viel geringer ausfallen, indem das Pferd nicht nur die eigentliche Ladung nebst dem Wagen ziehen, sondern auch jedesmal sein eignes Gewicht mit heraufheben muss. Es ist also zweckmässig, für die Stelle, wo die starke Neigung stattfindet, die Pferde in einem Göpel gehen zu lassen und mittelst langer Taue von dort ab den Wagen heraufzuziehen, was bei Benutzung einer Eisenbahn insofern sehr bequem ist, als der Wagen in der Bahn ganz sicher geht und er nicht mehr besonders geführt werden darf. Eine Schwierigkeit zeigt sich aber darin, dass ein regelmässiger Betrieb sich nicht einrichten lässt, wenn nur e i n e Bahn vorhanden ist, denn in diesem Falle müssen die Arbeiter, nachdem sie den Wagen beladen haben, so lange warten, bis derselbe wieder zurückkommt. Man kann hierbei zuweilen von dem Umstande Nutzen ziehen, dass der leere Wagen bergab geht und er also selbst auf einer sehr unvollkommnen und daher wohlfeilen Bahn noch ziemlich leicht sich bewegt, woher die zweite Bahn nicht besonders kostbar sein darf. Die Wagen müssen aber auch selbst so leicht sein, dass man sie im leeren Zustande ohne grosse Mühe von einer Bahn auf die andere versetzen kann. Wenn hierzu besondere Vorkehrungen erforderlich werden und überhaupt die ganze Anlage kostbar ausfällt, so geschicht es leicht, dass die Ersparungen, die im Transporte sich zeigen, nicht genügen, um die Einrichtungskosten zu decken. Man kann indessen von einer solchen Anlage auf einer grossen Baustelle auch später noch vielfachen Gebrauch machen, und besonders wenn in der Nähe

ein schiffbarer Fluss oder Canal ist, auf dem das Baumaterial angeliefert wird. Eine Hauptbedingung ist es dabei, dass die Eisenbahn leicht zu versetzen sein muss. Findet dieses statt, so macht es keine Schwierigkeit, sie auf Rüstungen bis über das Wasser zu führen und an andern Stellen sie einzurichten, wo sich auf gewöhnliche Art ein fahrbarer Weg nur mit grossen Kosten darstellen lassen würde und gerade in solchen Fällen zeigt sich die Bahn besonders vortheilhaft.

Man hat die Eisenbahnen mehrfach unter ähnlichen Verhältnissen und zwar auf verschiedene Art ausgeführt; ich will hier diejenige Construction der Bahn und des Wagens beschreiben, die ich bei den Hafenbauten in Pillau seit dem Jahre 1828 benutzte. Fig. 230 *a* und *b* zeigt diese Bahn in der Ansicht von der Seite und von vorn; ein vierzig Fuss langer kieferner Balken war der Länge nach durchschnitten und beide Stücke waren durch vier Riegel und drei Schraubenbolzen zu einem festen Rahmen verbunden, der die Bahn bildete; die obern Kanten waren scharf gebrochen, um die schmale Fläche darzustellen, welche die dünne eiserne Schiene trug. Das Gewicht eines solchen Bahntheiles war nicht viel grösser als das eines 40 Fuss langen Balkens, es liess sich leicht auf einem zweirädrigen Wagen transportiren und eine grosse Erleichterung für weitere Transporte lag darin, dass der beschriebene Rahmen ganz sicher schwamm und die Durchnässung ihm auch nichts schadete. Von diesen Bahnen wurden nun nach Umständen 2 bis 4 Stück zusammengesetzt und die grosse Stärke des Holzes erlaubte es, dass man nicht sehr besorgt sein durfte, in geringen Entfernungen Unterstützungen anzubringen. Am deutlichsten zeigte sich dieses beim Lossen der Steine, ich legte ein Ende der beschriebenen Bahn auf das Fahrzeug, worin die Steine angeliefert wurden und das andere auf die Rüstung am Ufer, der Rahmen lag also fast in seiner ganzen Länge frei und doch gingen hier Steine darüber, die bis 30 Cubikfuss hielten. Es gab sich dabei der sehr grosse Vortheil zu erkennen, dass ein geringes Schwanken des Schiffes bei mässigem Wellenschlage gar nicht das sanfte Aufstellen des Steines auf den Wagen verhinderte, denn der Wagen nebst demjenigen Ende der Bahn, worauf er stand, machte alle Schwankungen des Schiffes ganz gleichmässig mit und so wurde das Lossen der Steine nicht sobald durch un-

günstige Witterung unterbrochen. Sodann konnten mittelst dieser Bahn, wenn ihr Ende über ein Bohlwerk etwa 6 Fuss weit vortrat, auch Fahrzeuge beladen werden, ohne dass man für eine besondere Unterstützung des überstehenden Endes sorgen durfte.

Die Zusammensetzung des Wagens richtete sich nach der Form und Grösse der gusseisernen Scheiben, die zufälliger Weise gerade im dortigen Inventarium befindlich waren; von der Anbringung aller derjenigen Einrichtungen, die man heut zu Tage bei Eisenbahnwagen anwendet, konnte damals und unter den sonstigen Verhältnissen nicht die Rede sein; Alles musste so angeordnet werden, dass es sich ohne grosse Kosten durch einen gewöhnlichen Schmied ausführen liess. Die Axen bestanden aus Eisenstangen von quadratischem Querschnitt, die $1\frac{1}{2}$ Zoll breit und hoch waren, die cylindrischen Ansätze, um welche sich die Räder drehten, hatten $1\frac{1}{4}$ Zoll Durchmesser. Diese Axen waren in zwei Stücke Eichenholz von 4 Zoll Breite und Höhe eingelassen und zwei Zangen von denselben Dimensionen verbanden als Langbäume die ersten mit einander; vier Schraubenbolzen gaben aber dem so gebildeten Rahmen die nöthige Festigkeit und griffen zugleich durch die Axen hindurch. Die Spurweite des Wagens betrug $2\frac{1}{2}$ Fuss. Ich versuchte zuerst den Wagen nur auf der Holzbahn, also ohne eiserne Schienen gehen zu lassen; es zeigte sich dabei auch schon eine merkliche Erleichterung des Zuges; denn ein mit 20 Cubikfuss Sand oder Kies belasteter Wagen konnte noch bequem durch zwei Arbeiter fortgeschoben werden. Sobald indessen feuchte Witterung eintrat, so nahm der Widerstand sehr merklich zu und gerade in dieser Zeit gab sich auch eine starke Abnutzung der Bahn zu erkennen. Hiernach war die Anwendung von Schienen nicht zu umgehen, ich versuchte zuerst zu denselben ganz schwaches Bandeisen anzuwenden, welches 1 Zoll breit und noch nicht voll 1 Linie stark war; den erwähnten Uebelständen wurde hierdurch vollkommen vorgebeugt, aber es zeigte sich die eigenthümliche Erscheinung, dass durch die grösseren Lasten, die darüber gingen, die Schienen förmlich ausgewalzt wurden. Dieselben lagen nämlich, wenn die Bahn nicht gebraucht wurde, ziemlich gespannt auf dem Rahmen auf, ohne eine grössere Länge zu zeigen, als der Rahmen hatte, sobald aber der Wagen mit recht grossen Steinblöcken belastet war und darüber geführt

wurde, so erhoben sich die Schienen neben den Rädern und bildeten wellenförmige Krümmungen, die vor dem Wagen herliefen und gewöhnlich die sämmtlichen Nägel, womit sie befestigt waren, gewaltsam herausrissen, so dass die letzten oft mit lautem Platzen hoch in die Luft flogen. Als ich später den Schienen die Stärke von $1\frac{1}{2}$ Linien oder $\frac{1}{8}$ Zoll gegeben hatte, so verschwand auch dieser Uebelstand, und nur beim Lossen sehr grosser Steine, wo der Einfluss der starken Einbiegung der Bahn auch schon merklich werden mochte, gab sich zuweilen dieselbe Erscheinung wieder zu erkennen. Die Schienen hatten die Breite von 1 Zoll und der laufende Fuss derselben wog $\frac{1}{2}$ Pfund.

Wenn der Wagen zum Steintransport benutzt werden sollte, so durften nur einige Unterlager auf den Rahmen gelegt oder darauf leicht befestigt werden; wenn dagegen Erde oder Sand und Kies damit verfahren wurde, so war es nöthig, für ein leichtes Entleeren des Kastens zu sorgen. Der Kasten hatte die Gestalt eines Trichters und war aus einzölligen Brettern, die in den Kanten gegen Leisten genagelt waren, zusammengesetzt; am Boden hatte er eine Oeffnung, die mittelst einer beweglichen Klappe geschlossen werden konnte. Letztere wurde an der einen Seite durch zwei Charniere oder Bänder gehalten und die untern Arme derselben verlängerten sich bis auf die andere Seite, wo sie in Oesen ausgingen; hier waren die Leinen angesteckt, womit man die Klappe heben und herablassen konnte. Die Figuren stellen die ganze hier gewählte Einrichtung dar. Die Bodenklappe ist in ähnlichen Fällen schon häufig benutzt worden, doch giebt man ihr immer eine andere Einrichtung und hebt und schliesst sie gewöhnlich durch Griffe und durch Haken, die durch Federn angedrückt werden. Es treten jedoch dabei manche Uebelstände ein: der Arbeiter muss sich nämlich bücken und mit der Hand die Klappe heben, ferner ist ein recht scharfes Anziehen der Klappe nicht möglich und endlich wird sie durch den Haken nur an einem Punkte unterstützt, woher sie leicht durchbiegen kann. Bei der hier gewählten Einrichtung ist das Verfahren sowohl beim Oeffnen, als beim Schliessen ausserordentlich einfach und bequem und die Klappe kann jedesmal scharf angezogen werden. Zwei Leinen, die an den Armen der Charniere befestigt sind, gehen durch gehörig weite Einschnitte zwischen dem erwähnten

Rahmen und dem Kasten hindurch und sind über zwei Klampen geführt, welche seitwärts auf den letzteren genagelt sind. Die Gestalt dieser Klampen, welche man Hornklampen nennt, wenn sie wie hier nur einen aufwärts gerichteten Arm haben, ergiebt sich aus den beiden Figuren; sie dienen zum scharfen Anziehen und Befestigen der Taue; auf den Schiffen sieht man sie in grosser Anzahl an den Masten und rings um das ganze Bord angebracht, indem alles laufende Tauwerk an ihnen befestigt wird. Etwas Reibung verursachen sie freilich, doch kommt es im vorliegenden Falle hierauf gar nicht an. An der einen Leine ist ein kleiner Block befestigt und um denselben ist die andere Leine gezogen. Sobald man das lose Ende der letzten verkürzt, so wird die Klappe auf beiden Seiten gehoben. Hat man aber jenes Ende recht scharf angezogen und die Klappe genau geschlossen, so giebt die Klampe eben Gelegenheit, die Leine in solcher Spannung zu erhalten. Fig. 230 *a* zeigt die sehr einfache Befestigungsart der Leine; man fasst nämlich von ihrem losen Ende eine Bucht und zieht diese unter der Leine recht weit auf die Klampe herauf, alsdann bedrückt die stark gespannte Leine selbst ihr hinteres Ende und die Verbindung kann sich nicht lösen, bis man an dem losen Ende zieht und die Bucht hervorreisst. Auf diese Art werden die Leinen, womit man die Segel von Böten einstellt und die oft schnell gelöst werden müssen, immer befestigt. Der Arbeiter darf also nur an dem losen Ende ziehen, um die Klappe zu öffnen. In Fig. 230 *b*, welche die geöffnete Klappe zeigt, ist die Leine fortgelassen, um die Klampe nicht zu verdecken. Wenn der Arbeiter die Klappe wieder heben und befestigen will, nachdem der Inhalt des Kastens herausgefallen ist, was in der Zeit von einigen Secunden geschieht, so zieht er die Leine, die er in der Hand behalten hat, wieder fest an und versteckt das Ende derselben in der erwähnten Art, alsdann ist der Wagen sogleich wieder zur Aufnahme der neuen Füllung vorbereitet.

§. 44.
Umschliessung der Baugrube.

Häufig ereignet es sich, dass man die Baugrube nicht im hohen und wasserfreien Boden, sondern auf einer Stelle eröffnen will, die mit Wasser bedeckt ist und zuweilen muss in dem Flussbette selbst die Fundirung vorgenommen werden. In diesen Fällen lässt sich der eigentliche Bau bei Anwendung der gewöhnlichen Methoden nicht früher beginnen, bis man die Baugrube ausgeschöpft hat, und hierzu ist es wieder erforderlich, dass sie vorher schon gegen das umgebende Wasser abgeschlossen und ein ungehinderter freier Zufluss von den Seiten oder auch wohl durch den Boden unmöglich gemacht ist. Diejenigen Wände, welche zur Seite künstlich aufgeführt werden, um das Wasser abzuhalten, nennt man Fangedämme; sie müssen nicht nur dem Drucke des Wassers hinreichend widerstehen, und wo es nöthig ist, auch so fest sein, dass sie vom Schlage der Wellen nicht leiden, sondern es kommt dazu auch noch die Bedingung, dass die feinen Wasseradern nicht hindurchdringen dürfen, wodurch das Wasserschöpfen ausserordentlich erschwert wird, die Fangedämme selbst wegen der zunehmenden Erweiterung solcher Oeffnungen auch leicht in Gefahr gesetzt werden würden. In einzelnen Fällen beschränkt sich der Zweck der Fangedämme nur darauf, die Strömung und die starke Bewegung des Wassers von der Baugrube abzuhalten, alsdann sind die kleinen Oeffnungen darin nicht nachtheilig, das Wasser dringt mit Leichtigkeit hindurch und stellt sich von beiden Seiten in gleiche Höhe, so dass auch die Verschiedenheit des Druckes aufhört. Ihre Ausführung wird alsdann besonders einfach, doch hat man nicht leicht Gelegenheit, sich mit solchen Fangedämmen zu begnügen; es geschieht dieses nur, wenn die Fundirung unter Wasser ausgeführt wird. Endlich ist zuweilen der Baugrund so lose und so durchdringlich für das Wasser, dass die Umschliessung der Grube von der Seite noch nicht hinreichend das Zudrängen der Quellen verhindert; alsdann hat man es zuweilen versucht, noch eine besondere Ueberdeckung des Bodens mit wasserdichten Schichten darzustellen, es giebt indessen nur sehr wenige Beispiele dafür und man nennt diese Ueberdeckung des Grundes einen Grundfangedamm.

Bei dem Fangedamme, der die Baugrube zur Seite umschliesst, ist zunächst die Höhe desselben zu bestimmen, indem von dieser seine Stärke und seine ganze Constructionsart abhängt. Wenn die Wasserstände lange Zeit hindurch regelmässig beobachtet sind, so kann man aus den Tabellen ersehen, bis zu welcher Höhe die stärksten Anschwellungen steigen und welche Wasserstände man während der muthmaasslichen Dauer des Grundbaues erwarten kann. Bis über die allerhöchsten Wasserstände, welche jemals vorgekommen sind, wird man niemals die Fangedämme erheben, denn man wählt zum Grundbau immer diejenige Jahreszeit, wo die Anschwellungen selten und nicht bedeutend hoch, noch auch lange anhaltend sind. Es kann freilich geschehen, dass der Theil des Baues, während dessen man den Fangedamm gebraucht, in einem Sommer nicht beendigt wird und es sonach auch sehr vortheilhaft wäre, wenn die Umschliessung selbst die höchsten Winter- oder Frühjahrsfluthen abhalten konnte; da jedoch die Kosten für die Anlage des Fangedammes im Allgemeinen nicht der ersten Potenz der Höhe, sondern dem Quadrate derselben proportional anzunehmen sind und in der Regel selbst dieses Verhältniss noch nicht genügt, so muss man schon, um gar zu grosse Ausgaben zu vermeiden, solche ausserordentliche Fälle unbeachtet lassen und sich darauf gefasst machen, sobald sie eintreten, die Arbeit einzustellen und den ausgeführten Theil des Werkes mit Wasser bedecken zu lassen. Es bezieht sich dieses gemeinhin nicht nur auf das höchste Frühjahrswasser, sondern auch auf die höheren Wasserstände, welche in seltenen Fällen auch in derjenigen Jahreszeit eintreten können, die man zum Bau wählt, und die Frage, ob man bei einem gewissen Bau den Fangedamm etwa 9 oder 10 Fuss hoch machen soll, lässt sich ganz genau entscheiden, wenn man die Vortheile und Nachtheile des letzten Falles vergleichungsweise gegen den ersten in Zahlen ausdrückt. Der Nachtheil ist dabei nichts anderes, als die Mehrkosten, welche der erhöhte Fangedamm theils bei der ersten Anlage, theils aber auch vielleicht noch in anderer Beziehung veranlasst. Der Vortheil dagegen ist gleich den Kosten, den die Unterbrechung der Arbeit mit Rücksicht auf die etwanigen Beschädigungen beim höheren Wasserstande verursachen würde; dieser Vortheil tritt aber nicht mit Gewissheit ein, sondern er

giebt sich nur in dem Falle zu erkennen, wenn der Wasserstand zufälliger Weise während der Dauer des Baues sich so stellt, dass wohl der 9 Fuss hohe, jedoch nicht der 10 Fuss hohe Fangedamm überfluthet würde. Man muss also mit Rücksicht auf die Dauer des Grundbaues und auf die Jahreszeit, in welcher derselbe ausgeführt wird, die Wahrscheinlichkeit eines solchen Falles aus den Wasserstandstabellen zu ermitteln suchen, und mit derjenigen Zahl, welche diese Wahrscheinlichkeit ausdrückt, wird die zuerst gefundene Grösse des Vortheiles multiplicirt. Dieses Product ist der Werth, womit man den Vortheil mit Rücksicht auf die Wahrscheinlichkeit seines Eintretens in Rechnung zu stellen hat; ist er grösser als der obige Nachtheil, so wird es räthlich, die Erhöhung vorzunehmen, im andern Falle dagegen nicht. In einzelnen Fällen werden die Erfolge freilich anders ausfallen, als man hiernach erwarten kann, nichts desto weniger führt dieser Weg hier sowohl, wie in allen andern Verhältnissen, wo man gegen gewisse zufällige Ereignisse sich sichern will, zu dem passendsten Urtheil, und was man Glück oder Ueberlegung nennt, ist gewöhnlich nichts anderes, als eine dunkle Schätzung des Resultates dieser Rechnung. Dass man solche Rechnung im vorliegenden Falle immer speciell durchführen muss, soll hiermit keineswegs gesagt sein, der Zweck dieser Andeutung war nur der, die Umstände zu bezeichnen, von denen die Bestimmung der Höhe eines Fangedammes abhängt; wo es sich übrigens darum handelt, bei der Ausführung einige hundert oder tausend Thaler zu ersparen, da sollte die Mühe, welche eine kleine Rechnung verursacht, auch nicht zu hoch angeschlagen werden. Es muss aber noch bemerkt werden, dass der obere Theil eines Fangedammes wegen des unvermeidlichen Setzens der Erde gemeinhin den Durchfluss des Wassers nicht ganz sicher verhindert und deshalb pflegt man etwa einen Fuss über denjenigen Wasserstand heraufzugehen, den man noch sicher abhalten will.

An den Meeresküsten, wo der Unterschied zwischen Ebbe und Fluth sehr bedeutend ist, dient der Fangedamm gewöhnlich nur dazu, um das Eintreten des Wassers zur Zeit der niedrigsten Ebben zu verhindern; die Bauzeit beschränkt sich alsdann immer nur auf eine oder anderthalb Stunden, und sobald das Wasser merklich steigt, wird die Baugrube sogleich inundirt. Der grösste

Theil der Hafenbauten in England kommt in dieser Art zur Ausführung, und wenn die vielfachen Unterbrechungen dabei auch sehr störend sind, so lässt es sich doch nicht verkennen, dass die regelmässige Wiederkehr eines so niedrigen Wasserstandes andererseits wieder die Fundirung sehr erleichtert und die Kosten für Anlage eines Fangedammes und für Wasserschöpfen in hohem Grade ermässigt. Der grösste Uebelstand tritt hierbei nur ein, wenn eine solche Baustelle vom Lande aus nicht zugänglich ist, was namentlich bei Leuchtthürmen sich mehrmals wiederholt hat, die auf Klippen im Meere gebaut wurden; sobald das Wasser beinahe seinen tiefsten Stand erreicht hatte, mussten die Arbeiter alsdann in Böten nach der Baustelle geführt werden, und wie ein merkliches Steigen eintrat, so mussten sie schon wieder nach den in der Nähe liegenden Schiffen zurückfahren, indem die ganze Baustelle sogleich vom Wasser bedeckt wurde und die Wellen darüber gingen.

Von der Höhe, welche der Fangedamm erhält, muss seine Stärke abhängen, und zwar ist es nicht nur nöthig, ihm bei grösserer Höhe auch eine grössere Breite zu geben, sondern die ganze Construction muss alsdann auch solider gewählt werden. Bei einer Höhe von wenigen Fuss genügt es, den Erddamm ohne alle Holzwand aufzuschütten, doch lagert sich die Erde fester und sie lässt sich auch besser stampfen, wenn man sie wenigstens gegen eine dichte Wand lehnt, die alsdann immer auf der innern Seite oder auf der Seite nach der Baugrube sich befindet. Hierher gehört der bereits erwähnte Fall, dass man den für das Fundament bestimmten Raum mit einer Spundwand umgiebt und dieselbe von aussen mit einem Thonschlage versieht. Statt der Spundwand kann man sich indessen auch einer Stülpwand (Fig. 213) bedienen, und wenn es nicht darauf ankommt, den Boden selbst zu comprimiren, um die etwa darin befindlichen Wasseradern zu schliessen, so lässt sich die Rammarbeit merklich erleichtern, wenn man nicht die Bohlen so tief einrammt, dass sie dadurch einen sichern Stand erhalten, sondern man eine verholmte Pfahlreihe zuerst anbringt und jene dagegen lehnt. Es kommt hierbei häufig auch noch die Abänderung vor, dass man die Bohlenwand nicht senkrecht stellt, sondern sie schräge und zwar mit einer Neigung von 30 bis 45 Graden gegen den Horizont auf den er-

wähnten Holm lehnt. In diesem Falle lassen sich die Fugen der Wand auch noch durch darübergeworfenen Mist oder belaubte Zweige und dergleichen etwas dichten, so dass die Erde nicht hindurchfällt. Man kann alsdann die Spundwand ganz sicher entbehren und selbst die Ueberdeckung der Fugen durch eine zweite Lage von Brettern oder die Anbringung der gestülpten Wand ist weniger nothwendig, ja es kommt sogar vor, dass man gar nicht einmal Bohlen oder Bretter benutzt, sondern jene Wand allein aus Latten oder Stangen bestehen lässt.

In dieser Art erbaute man am Zusammenflusse des Cure mit der Yonne Fangedämme, welche, wie Fig. 231 *a* und *b* in der Ansicht von vorn und von der Seite zeigt, einen Wasserstand von 9 Fuss abhielten *), doch musste während ihrer Ausführung der Wasserstand bedeutend geringer sein, weil die Construction, wie es scheint, sonst nicht darzustellen gewesen wäre. Im Abstande von 7 Fuss von einander wurden schräge Böcke aufgestellt, darüber zwei Reihen Balken gelegt, welche die Holzwand trugen; diese bestand nur aus Stangen, und um deren Fugen zu decken, legte man eine starke Lage belaubtes Strauch oder Stroh darüber und hierauf ruhte der wasserdichte Damm. Die Stützen in der Mitte jedes Bockes nebst der Bohle, worauf sie aufstehen, konnten aber erst angebracht und eingetrieben werden, nachdem das Wasser aus der Baugrube schon entfernt war. Es wird angeführt, dass ein Fangedamm dieser Art in einer Länge von 20 Meter oder $63\frac{3}{4}$ Fuss in zwei Tagen dargestellt werden konnte.

Auch der sehr interessante Fangedamm, den Thunberg bei Carlscrona ausführte, bestand aus einer solchen schrägen Wand, die jedoch eine Spundwand und zwar mit der Fig. 201 angegebenen Spundung war. Dieser Fangedamm ist insofern besonders wichtig, als er auf ganz eigenthümliche Weise erbaut ist und man es bei ihm sogar versuchte, durch ein sehr überlegtes Verfahren in der Wassertiefe von einigen zwanzig Fuss das Gerüste des Dammes aufzustellen und zu verbinden; im tiefen Wasser wurden die Balken, welche den Längenverband ausmachten, auf die einzelnen Böcke oder Binder, die lose auf dem vorher geebneten Meeres-

*) *Annales des ponts et chaussées.* 1832. *I. p.* 403. und in den *Recueuil de dessins, rélatifs à l'art de l'ingénieurs.*

boden standen, aufgenagelt und alsdann erst rammte man die schräge Spundwand davor ein. Die letztere wurde nur am untern Theile beschüttet, oben musste sie allein den wasserdichten Schluss darstellen. Der Fangedamm brach indessen und hierauf wurden manche Modificationen eingeführt. Dazu gehörte, dass eine Menge Pfähle normal gegen die Spundwand eingerammt wurden, um diese sicher zu halten, und ausserdem baute man dahinter noch einen zweiten Fangedamm, damit jeder einzelne nur den halben Wasserdruck abzuhalten hatte. *) Eine nähere Beschreibung übergehe ich, indem ähnliche Constructionen wohl nicht leicht Anwendung finden dürften; es gehört dieser Bau aber wegen der sehr künstlichen Anordnungen, die dabei gewählt waren, zu den interessantesten Werken, und es ist nur zu bedauern, dass die Mittheilungen darüber so wenig klar sind.

Bei Anwendung der Bétonfundirungen stellt man häufig auch die Fangedämme aus Béton dar und schüttet sie im Zusammenhange mit dem Grundbette. Doch kann man hiervon nur Gebrauch machen, wenn diese Dämme später als Theile des Mauerwerks zu benutzen sind, denn ohne diesen doppelten Zweck würden sie zu theuer ausfallen und ausserdem wäre ihre Fortschaffung unter Wasser auch sehr schwierig. Man erreicht bei dieser Construction noch den grossen Vortheil, dass man bei eintretendem höhern Wasserstande auch leicht die Erhöhung des Fangedammes vornehmen kann, indem man mit schnellbindendem hydraulischem Mörtel eine Mauer darüber aufführt. Bei Gelegenheit der Bétonfundirungen soll das Erforderliche über die Darstellung dieser Fangedämme mitgetheilt werden.

Am häufigsten werden die Fangedämme in der Art construirt, dass man zwei senkrechte Holzwände darstellt und den Zwischenraum mit einer passenden Erde ausfüllt, man nennt sie in diesem Falle Kasten-Fangedämme. Da die Erdschüttung vorzugsweise wieder den wasserdichten Schluss darstellen muss, so ist es nöthig, dass diese auch die gehörige Breite erhält; ausserdem aber vermehrt sich durch eine grössere Breite auch die Masse des Dammes und trägt dadurch zu seiner Stabilität wesentlich bei. Hierzu kommt noch, dass die Fangedämme bei

*) *Essai de bâtir sous l'eau par J. Fellers.* Stockholm 1776.

einer beschränkten Ausdehnung der Baugrube zugleich als Wege zum Beischaffen von Materialien und Geräthschaften benutzt werden, weshalb es wieder passend ist, sie nicht gar zu schmal zu machen. Bei niedrigen Fangedämmen ist die Breite gewöhnlich der Höhe gleich, wenn aber die Höhe über 8 bis 9 Fuss steigt und sonach die Breite grösser ausfallen würde, als das Erforderniss in Bezug auf die Darstellung eines Weges es verlangt, so pflegt man die letztere in geringerem Verhältnisse als die Höhe wachsen zu lassen. Hiernach hat sich bei uns die Regel gebildet, dass man bei einer Höhe von mehr als 8 Fuss die Breite des Fangedammes gleich der halben Höhe und 4 Fuss annimmt. In Frankreich ist man gewohnt, bei einer Höhe bis zu 3 Meter (9½ Fuss) die Breite der vollen Höhe gleich zu setzen, über diese Grenze hinaus lässt man aber die Breite nur um den dritten Theil der Mehrhöhe wachsen.*) In England betrachtet man die Fangedämme nicht als Theile des Baues, sie werden daher im eigentlichen Bauprojecte auch nicht mit aufgenommen und es bleibt ihre Anordnung und Ausführung den Entrepreneuren überlassen, aus diesem Grunde hat sich dort keine so bestimmte Regel für die Dimensionen und die Constructionsart dieser Werke festgestellt; in der neuesten Zeit haben jedoch die ausgezeichnetsten Ingénieure bei Aufstellung von Bauprojecten, wo die Anlage der Fangedämme besondere Schwierigkeiten zu bieten schien, dieselben mit berücksichtigt und die Wahl der Breite in solchen Fällen schliesst sich häufig wieder ungefähr an die obigen Regeln an.

Die Construction dieser Fangedämme ist folgende: es werden zwei Reihen Pfähle, die den Fangedamm von beiden Seiten einschliessen, eingerammt; der Abstand der einzelnen Pfähle in jeder Reihe beträgt 4 bis 5 Fuss und die beiden Reihen sind so weit von einander entfernt, dass, mit Rücksicht auf die dagegen zu lehnenden Bohlenwände, die Erdschüttung selbst die vorstehend angegebene Breite erhält. Diese Pfähle müssen so fest im Grunde stecken, dass sie nicht nur dem Drucke des Wassers Widerstand leisten, sondern, wenn es nöthig sein sollte, den losen aufgeschwemmten Grund innerhalb des Fangedammes auszubaggern, sie auch dadurch nicht ihren sichern Stand verlieren. Die beiden

*) Sganzin, *programme. IV. édition. p.* 305.

Pfahlreihen werden ferner nach der bei uns üblichen Methode in gleicher Höhe abgeschnitten, mit Zapfen versehen und auf letztere die Holme befestigt. Fig. 232 zeigt diese Anordnung im Querschnitte. Um jedoch den Fangedamm gegen ein Ausdrängen durch die einzubringende Erdschüttung zu sichern und zugleich seine beiden Wände mit einander zu verbinden, so werden in demselben Abstande, in welchem die Pfähle unter sich stehen, Querzangen angebracht, welche über beide Holme greifen. In Frankreich ist die Construction etwas abweichend und zwar wird das Ausweichen eines einzelnen Pfahles daselbst sicherer verhindert, als dieses durch den Zapfen geschehen kann; überdies vermeidet man dort das Verschneiden der Pfähle, wodurch deren spätere Benutzung zu gleichem Zwecke um so leichter bleibt; man nagelt nämlich, wie Fig. 233 zeigt, an die äussern Seiten der Pfähle Rahmen von Kreuzholz an und verbindet diese unter sich wieder durch die darin verkämmten Zangen. Häufig lässt man aber auch jene ersten Verbandstücke ganz fort, indem schon die innere Verkleidung ihre Stelle vertritt, und man verbindet nur die gegenüberstehenden Pfähle in beiden Reihen durch doppelte und mit Schraubenbolzen zusammengezogene Zangen, wie Fig. 235 *a* und *b* in der Ansicht von oben und im Querschnitte dieses zeigt. Eine solche Anordnung sah ich bei einem Fangedamme in Havre anwenden.

Bevor die Zangen zur Verbindung der beiden Pfahlreihen unter sich aufgebracht werden, muss man schon die **dichten Bohlenwände** auf der innern Seite der Pfähle einsetzen, gegen welche die Erdschüttung sich lehnt. Es geschieht dieses auf sehr verschiedene Art, und zwar wird die Wand immer um so fester gemacht werden müssen, je grösser der Wasserdruck ist, den der Fangedamm abhalten soll. Das einfachste Verfahren ist dieses, dass man Bohlen horizontal an den Pfählen herabschiebt, da es jedoch bei einer Wassertiefe, die mehrere Fuss beträgt, nicht mehr möglich sein würde, die untern Bohlen zu halten, bevor die Füllung eingebracht ist, so verbindet man die einzelnen Bohlen schon vorher zu Tafeln, welche die ganze Höhe des Fangedammes haben, und man bemüht sich, sie bei ihrem Einsetzen, soviel es geschehen kann, überall in den Grund herabzustossen, damit nicht etwa gar zu grosse Fugen über dem natürlichen Boden zurück-

bleiben, wodurch die eingeschüttete Erde zu sehr dem Angriffe des Wassers ausgesetzt würde. Zu diesem Zwecke ist es vortheilhaft, unmittelbar an der innern Seite der Pfahlreihen eine etwas vertiefte Rinne auszubaggern, deren Sohle möglichst eben ist; die bereits aufgebrachten Holme gewähren hierbei eine grosse Erleichterung, indem sie eine bequeme und feste Rüstung darstellen, von welcher aus diese Arbeit sich leicht ausführen lässt. Die Tafeln selbst werden, wie Fig. 232 zeigt, auf der äussern (dem Wasser zugekehrten) Seite durch vorgenagelte Leisten verbunden; man hat aber dafür zu sorgen, dass der Stoss zwischen je zwei solcher Tafeln jederzeit auf einen Pfahl trifft und beide Enden sich noch sicher an diesen lehnen können, man nagelt sie alsdann gegen den Holm fest an. Um den Stoss zwischen beiden Tafeln besser zu dichten und um zugleich ein Aufheben oder Umschlagen derselben zu verhindern, so rammt man auf der innern Seite über den Stoss noch eine Bohle vor, wodurch die Tafeln an ihren Enden sehr sicher gehalten werden.

Diese Anordnung lässt sich indessen nur so lange anwenden, als der Druck, den die Wand erleidet, nicht bedeutend ist; wenn derselbe grösser wird, so kann man in vielen Fällen noch von den Stülpwänden vortheilhaft Gebrauch machen; bei diesen schliesst sich jede einzelne Bohle oder Diele sehr sicher an alle Unebenheiten des Grundes an und sie lässt sich sogar, soviel es nöthig ist, in einen weichen Boden auch leicht hineintreiben. Die erste Reihe der Bohlen erhält durch die zweite, welche die Fugen verdeckt, noch eine bedeutende Verstärkung und sonach darf man bei niedrigen Fangedämmen auch nicht besorgen, dass die Bohlen sich ausbauchen werden. Bei grösserer Höhe muss man dieses aber schon besorgen, und sobald einzelne Bohlen merklich durchbiegen, so öffnen sich auch sogleich die Fugen, wodurch der Fangedamm undicht wird. Es kommt also darauf an, den äussern Bohlen zwischen dem Holme und dem Boden noch eine dritte Unterstützung zu verschaffen; wenn gerade recht niedriges Wasser zur Zeit der Ausführung des Fangedammes stattfindet und die Wassertiefe alsdann nicht gross ist, so genügt es, in der Höhe des Wasserspiegels noch eine Bohle oder ein Stück Halbholz gegen die Pfähle zu nageln; im entgegengesetzten Falle aber lässt sich ein solcher Riegel auch mittelst aufgenagelter Latten leicht

bis zu jeder beliebigen Tiefe herabschieben und im Wasser erhalten. Indem es hierbei auf eine geringe Differenz in der Höhe gar nicht ankommt, so dürfen die Stösse zwischen diesen Riegeln nicht gerade auf die Pfähle treffen, sondern es ist besser, ihnen dadurch eine ganz sichere Haltung zu geben, dass man sie noch über die Pfähle vortreten und gegenseitig an einander vorbeigreifen lässt; sie erhalten alsdann sämmtlich eine etwas geneigte Lage, oder sie liegen abwechselnd etwas höher und tiefer. Wenn nun aber die Holme mit der innern Seite der Pfahlreihe bündig verlegt sind und man gegen diese wieder die Stülpwand lehnen wollte, welche weiter unterhalb um die Breite der vorgeschobenen Riegel von der Pfahlwand entfernt gehalten wird und sonach in grösserer Tiefe noch mehr davon absteht, so würde der Fangedamm unten schmaler als oben sein, was durchaus unstatthaft ist. Um dieses zu vermeiden, muss man vor dem Holme oder wenig darunter noch einen zweiten Riegel von derselben Stärke, wie den untern, aufnageln und diese beiden als Lehre für das Einrammen der Stülpwand benutzen.

Wird endlich der Fangedamm etwa 12 Fuss hoch oder darüber, so muss man zu seiner Verkleidung und namentlich auf der innern Seite, wo er nicht nur den Druck der eingeschütteten und festgestampften Erde, sondern ausserdem auch den des äussern Wassers auszuhalten hat, schon eine Spundwand wählen. Bei derselben erreicht man einen genauen Schluss und vermeidet viel sicherer alle weit geöffnete Fugen, die sonst leicht bei tiefem Wasser vorkommen können; ausserdem aber besitzt eine Spundwand jederzeit eine grosse Steifigkeit, und wenn vielleicht auch in ihr ein geringes Einbiegen noch eintreten sollte, so wird dieses nicht mehr in den einzelnen Bohlen stattfinden, sondern sich auf grössere Theile der Wand erstrecken und sonach kein nachtheiliges Oeffnen der Fugen zur Folge haben. Endlich ist noch die Anbringung der Spundwände und zwar auf beiden Seiten eines Fangedammes auch insofern von der äussersten Wichtigkeit, als dieselben mehrere Fuss tief im Boden stecken und man sonach zwischen ihnen den Grund ausbaggern und auf solche Art den Fangedamm bis unter das natürliche Bette herabführen kann; dieses Verfahren trägt bei einem kiesigen Grunde wesentlich zur Verminderung des Wasserzudranges in der Baugrube bei; doch

wirkt darauf auch schon die Spundwand in anderer Beziehung hin, indem sie, wie bereits bemerkt worden, den Grund neben sich comprimirt und die Wasseradern sperrt. Bei sehr hohen Fangedämmen kann es indessen auch für die Spundwand noch bedenklich sein, ihr keine Unterstützung unterhalb des Holmes zu geben, und ausserdem wird das Einrammen derselben nicht ganz sicher, wenn die Zwinge sehr weit über dem Boden sich befindet. Perronet wandte zur Vermeidung dieser Uebelstände beim Bau der Brücke zu Neuilly ein Mittel an, welches eine nähere Beschreibung verdient. Fig. 233 zeigt den Querschnitt des daselbst benutzten Fangedammes und man bemerkt, wie jede Spundwand zwischen zwei Zwingen steckt, von denen die untere über 3 Fuss tief unter dem niedrigsten Wasserstande (der in der Figur angedeutet ist) sich befindet. Der Fangedamm besteht aus zwei Pfahlreihen, die von Mitte zu Mitte 10 Fuss von einander entfernt waren, und der Abstand der einzelnen Pfähle in jeder Reihe betrug 4 Fuss. Die Pfähle hatte man unten bebrannt. In der Höhe von 5 Fuss 6 Zoll über dem niedrigsten Wasserstande waren an jede Pfahlreihe an der äussern Seite Rahmen angenagelt, die 6 Zoll hoch und eben so stark waren; in den Stössen, die immer gegen die Pfähle trafen, griffen sie mit 14 Zoll langen Blättern über einander; auf diesen lagen die Zangen, die bei einer Höhe von 8 Zoll 15 Fuss lang waren; an den Stellen, wo letztere die Rahmen kreuzten, waren sie 3 Zoll tief eingeschnitten; die Rahmen selbst behielten hier aber ihre volle Stärke bei. Die Spundwände, welche gegen die Pfahlreihen gestellt werden sollten, bestanden aus einzelnen Theilen, von denen jeder 12 Fuss lang war und in folgender Art zusammengesetzt wurde. Indem man die beiden Paare der Zwingen und die beiden äussern Spundpfähle durch Schraubenbolzen verband, so bildete sich ein verschiebbares Parallelogramm. Diese Spundpfähle, sowie alle übrigen, waren 4 Zoll stark und 21 Fuss lang, die Zwingen bestanden aus 4zölligen Bohlen von 9 Zoll Breite, sie hatten aber nicht die volle Länge von 12 Fuss, um sich nicht gegenseitig zu berühren. Beim Zusammensetzen der Zwingen wurden zugleich die sämmtlichen zugehörigen Spundbohlen genau eingepasst. Man machte alsdann mit dem Einrammen der beiden äussern Spundpfähle den Anfang, welche durch die angebolzten Zwingen mit einander ver-

bunden waren; sie behielten sonach sowohl oben als unten den bestimmten Abstand bei und man sorgte auch dafür, dass die Enden der Zwingen sich gegen die Pfähle anlehnten. Sobald auf diese Art die Zwinge festgestellt war, so wurden die eingepassten Spundpfähle hineingeschoben und eingerammt, man nahm jedoch darauf Rücksicht, dass die mittleren am spätesten bis zur vollen Tiefe herabgeschlagen wurden, damit die äussern weniger stark angegriffen und nicht etwa durch die Bolzen gespaltet werden möchten. Endlich blieb noch der Raum zwischen je zweien solcher Rahmen auszufüllen und dieses geschah, indem man passende Spundpfähle auch hier einrammte; diese letzten wurden gleichfalls durch die bereits angebrachten Zwingen in ihrer richtigen Stellung erhalten, denn jede derselben trat noch einige Zoll weit vor und diente sonach zur sichern Führung des zuletzt eingebrachten Spundpfahles. Fig. 234 zeigt diese Anordnung; es mag indessen nicht leicht gewesen sein, die von einander ganz unabhängigen Zwingen so genau in einer Ebene und parallel zu einander einzurammen, dass die Zwischenpfähle sich genau an beide anschliessen konnten, und es scheint, dass es vortheilhafter gewesen wäre, wenn man, sobald ein Theil der Spundwand bis zur vollen Tiefe eingerammt war, zuerst den Zwischenpfahl und demnächst die zweite Zwinge eingestellt hätte. Um die Beschreibung dieses Fangedammes zu vervollständigen, bemerke ich noch, dass zwischen den Spundwänden nunmehr der sandige und leichte Boden so tief ausgebaggert wurde, bis man auf eine feste Erde kam, durch welche keine Filtration zu besorgen war.

Wenn der Fangedamm eine grosse Höhe und sonach auch eine grosse Breite haben muss, so gewährt die bisher beschriebene Anordnung nicht mehr die nöthige Sicherheit, indem bei dem vermehrten Drucke des Wassers ein Durchquellen um so leichter zu besorgen ist; man muss also eine Einrichtung wählen, wodurch die beim Füllen des Dammes vielleicht gebildeten undichten Stellen noch unterbrochen werden. Der sicherste Schluss erfolgt immer da, wo die eingeschüttete und später stark angerammte Erde sich in der Richtung des Wasserdruckes gegen die Bohlenwand lehnt. Bei der beschriebenen Constructionsart erfolgt dieses nur einmal; bei höhern Fangedämmen genügt dieses aber um so weniger, als man in der grösseren Tiefe nicht mehr auf die compacte Ab-

lagerung der Erde hinwirken kann und aus diesem Grunde trennt man den Damm der Breite nach in zwei, auch wohl in drei Theile. Es tritt hierbei noch der Vortheil ein, dass für den obern Theil die halbe Stärke schon genügt und sonach der eine Kasten nur etwa halb so hoch zu sein braucht. Will man ihm aber diese geringere Höhe geben, so muss man den Wasserspiegel schon gesenkt haben, und hieraus folgt wieder, dass dieser niedrigere Theil auf der innern Seite des Dammes oder an der Baugrube sich befinden muss. Man kann ihn alsdann auf dieselbe Art, wie die Bankete, in der abgestochenen Erdwand zum Aufstellen mancher Utensilien und Materialien und zur Erleichterung der Communication benutzen. Fig. 236 zeigt eine Anordnung dieser Art. Man macht damit den Anfang, dass man einen gewöhnlichen Fangedamm, jedoch nur von der halben Breite, die er seiner Höhe nach erhalten sollte, ausführt. Alsdann werden die Schöpfmaschinen in Thätigkeit gesetzt, und sobald der Wasserspiegel bis zur Höhe des nächstfolgenden Theiles des Dammes gesunken ist, so wird dieser genau in derselben Art, wie der erste, ausgeführt. Es tritt in der Construction nur die Aenderung ein, dass man, um die innere Pfahlreihe des ersten Theiles auch für diesen zu benutzen, die Zangen auf einer Seite zwar über den Holm der dritten Pfahlwand greifen lässt, auf der andern Seite werden sie aber mit einem schwalbenschwanzförmigen Blattzapfen seitwärts in die Pfähle eingelassen und aufgenagelt. Eine Strebe, die man zwischen jeder solchen Zange und dem zugehörigen Pfahle mit Versatzung eintreibt, giebt noch eine kräftige Stütze gegen den Wasserdruck. Man hat auch vorgeschlagen, diese Verstrebung noch bis unter den letzten Theil des Fangedammes fortzusetzen und sie mit schrägen Pfählen zu verbinden, doch möchte es schwer halten, die letzteren einzurammen und jedenfalls würde dadurch die Baugrube sehr stark verengt werden.

Wenn eine solche Spaltung des Fangedammes eintritt, so beträgt die Höhe jeder Stufe gegen die nächst vorhergehende etwa 8 bis 12 Fuss; indem man aber die Breite des Dammes in seiner Grundfläche nur so gross macht, als oben angegeben ist, so tritt hierbei eine merkliche Verminderung des Quantums an Erde ein, welche man zur Füllung braucht. In manchen Fällen mag dieser Vortheil beachtenswerth sein, doch wird er nie die Mehrkosten

für die dritte Wand decken und sonach darf man nicht hoffen, auf diese Art den ganzen Fangedamm wohlfeiler darzustellen.

Die Fangedämme, die man in England ausführt, erhalten in dem Falle, wo sie sich bis über die höchsten Fluthen erheben, eine sehr grosse Höhe und ihre Construction wird dadurch zwar schwierig, aber nichts desto weniger tritt auch wieder die Erleichterung ein, dass man zur Zeit der Ebben auch an ihrem untern Theile manche Verstärkung anbringen kann, welche sonst unausführbar wäre. Ein anderer Vortheil, der aus dem abwechselnden Wasserstande entspringt, bezieht sich darauf, dass man die Füllungserde nicht in der ganzen Höhe schon aufgeschüttet haben darf, bevor man sie anstampfen kann, sondern es lässt sich das Stampfen und regelmässige Aufbringen von dünnen Lagen schon einführen, sobald man über die Höhe der Ebben heraufgekommen ist. Schon früher wurde bemerkt, dass man bei diesen Fangedämmen nicht Spundwände, sondern dichte Pfahlwände ohne Spundung anwendet, gewöhnlich fehlt auch die davorstehende verholmte Pfahlreihe, wenn dieselbe nicht etwa zum regelmässigen Einrammen der dichten Pfahlwand beibehalten wird. Auch die hölzernen Zangen kommen bei diesen grösseren Fangedämmen nicht vor, ihre Stelle vertreten aber eine Menge von eisernen Bolzen, die nicht nur oben, sondern in mehrfachen Reihen so weit abwärts sich erstrecken, als man zur Zeit der niedrigsten Ebben sie überhaupt noch einziehen kann. Um ein Beispiel von der Anordnung eines solchen Fangedammes zu geben, wähle ich dasjenige, welches Hughes in der Abhandlung über die Fundirung der Brücken *) anführt, und dieses eignet sich insofern vorzüglich zur Mittheilung, als die Details dabei genau angegeben sind und der Verfasser, wie er sagt, als Entrepreneur mancher grossen Bauten Gelegenheit hatte, sich mit den Erfordernissen eines Fangedammes genau bekannt zu machen. Fig. 237 zeigt im Querschnitte den Fangedamm, der von beiden Seiten die Baugrube umgiebt, in welcher ein Brückenpfeiler auf dem natürlichen festen Grunde erbaut werden soll. Es wird angenommen, dass dieser Grund, welcher das Wasser nicht stark durchsickern lässt, auf 12 Fuss Höhe mit grobem Kies bedeckt ist, welcher sowohl in

*) *Theory, practice and architecture of bridges. Sect. V. p. 46.*

der Baugrube selbst, als auch aus den Fangedämmen entfernt werden muss, um sie wasserdicht zu machen. Die Wassertiefe über der obern Schicht soll zur Zeit der Ebben noch 10 und zur Zeit der Fluthen 28 Fuss betragen, so dass der feste Grund, in welchen die Pfähle hineindringen müssen, 40 Fuss unter den Fluthen liegt. Hiernach wird die Länge der Pfähle für die dichten Pfahlwände, welche den höchsten Theil des Fangedammes einschliessen sollen, auf 48 Fuss bestimmt, indem sie noch 3 Fuss über die Fluthhöhe herausragen und 5 Fuss im festen Grunde stecken. Der Fangedamm wird in drei Abtheilungen zerlegt, zu deren Darstellung vier dichte Pfahlreihen erforderlich sind; die mittleren beiden sind die höchsten, die äussere erhebt sich bis 1 Fuss über den Wasserstand zur Zeit der Ebben und die innere bis 11 Fuss über denselben Wasserstand; sie reichen sämmtlich 5 Fuss tief in den festen Grund. Die lichte Entfernung aller Wände unter sich beträgt 6 Fuss und die Stärke der Pfähle in den beiden mittleren Wänden ist 12 und 12 Zoll, in der innern Wand 12 und 8 Zoll und in der äussern 12 und 6 Zoll. Alles Holz soll gerade gewachsen sein und aus der besten Sorte Memeler Balken (Kiefern) bestehen. Die beiden innern Wände werden oben zu beiden Seiten mit Zangen versehen von 6 Zoll Stärke und 12 Zoll Höhe und durch eiserne Bolzen von $1\frac{1}{4}$ Zoll Stärke mit einander verbunden. Diese Bolzen müssen starke Köpfe haben von 3 Zoll im Gevierten und 1 Zoll Dicke und auf der andern Seite muss jedesmal ein scharfes Schraubengewinde eingeschnitten sein, worauf eine Mutter passt, welche dieselben Dimensionen, wie der Kopf hat; die Scheibe unter der Mutter darf gleichfalls nicht fehlen. Solche Verbindungsbolzen müssen alle 4 Fuss angebracht sein, sie liegen auch in drei Reihen unter einander und umfassen in der nächsten Reihe drei Wände und in der untersten Reihe alle vier Wände. Das Ausbaggern der obern Kiesschicht soll noch vor dem Beginne der Rammarbeit vorgenommen werden, indem diese dadurch wesentlich erleichtert wird.

In der mitgetheilten Figur zeigen sich noch die Verstrebungen der beiden Fangedämme gegen einander und gegen den bereits fertigen Theil des Brückenpfeilers; dieser Umstand unterscheidet die englischen Fangedämme wesentlich von denen, die man bei uns anwendet. Bei der von Telford ausgeführten Eingangsschleuse

in der St. Katharine's Docke in London wurde ein Fangedamm benutzt, der dem beschriebenen sehr ähnlich war und gleichfalls aus drei Abtheilungen bestand; die Verstrebungen kommen auch hier vor, obgleich die Schleuse auf einem Pfahlrost erbaut ist. *)

Eine solche Verstrebung ist indessen nicht leicht anzubringen, wo Pfähle eingerammt werden, indem das Versetzen der Ramme dadurch sehr erschwert wird. Am leichtesten ist es, in diesem Falle den Fangedamm so weit herauszurücken, dass eine solide Verstrebung noch dahinter Platz findet; in solcher Art wurde beim Bau des neuen Parlamentshauses neben der Westminster-Brücke in London der eigentliche Fangedamm so weit vor das Fundament in das Flussbette herausgeschoben, dass zwischen beiden ein freier Zwischenraum von 25 Fuss blieb; dieser Fangedamm bestand nur aus einer einzigen Abtheilung, die jedoch auf ähnliche Art, wie eben erwähnt, ausgeführt wurde; die Breite der Thonschüttung betrug nur 5 Fuss, aber ihre Höhe über dem natürlichen Bette 21 Fuss und sie erstreckte sich noch 9 Fuss darunter, indem vor dem Beginne der Rammarbeit so tief gebaggert war. Der Fangedamm hatte indessen hier noch auf andere Art eine wesentliche Verstärkung erhalten, denn zunächst umgab ihn auf der innern, sowie auch auf der äussern Seite eine Pfahlreihe, worin die Pfähle 6 Fuss von Mittel zu Mittel entfernt waren und diese wurde gleichfalls durch die dreifach über einander hindurchgezogenen Bolzen gehalten; auf der innern Seite lehnte sich aber an diese Pfähle eine Verstrebung, welche von einer fünften Pfahlreihe, die 20 Fuss hinter dem Fangedamme stand, getragen wurde. **)

Beim Bau der neuen London-Brücke bestand der 35 Fuss hohe Fangedamm aus zwei Abtheilungen von gleicher Höhe, welche wieder durch drei dichte Pfahlwände gebildet wurden, die äussere Abtheilung hatte eine lichte Breite von 6 Fuss und die innere von 5 Fuss, sie waren unter sich mehrfach und zwar nicht nur durch eiserne Bolzen, sondern auch durch Holzverstrebungen verbunden. Eine sehr feste Verstrebung aus vielen Verbandstücken zusammengesetzt, worunter sich auch zwei Reihen horizontaler

*) *The Civil Engineer and Architect's Journal. II. p.* 430 ff.

**) *The Civil Engineer and Architect's Journal. I. p.* 31.

verdoppelter Balken befanden, erstreckte sich etwa 120 Fuss rückwärts *); sie wurden nach und nach entfernt, sobald sie der Aufführung des Pfeilers hinderlich wurden, sie konnten alsdann durch kürzere Streben, welche sich gegen das fertige Mauerwerk lehnten, ersetzt werden. Ein wichtiges Beispiel einer ähnlichen Verstrebung ist auch in Venedig vorgekommen, als man daselbst im Jahre 1808, um den Hafen für Kriegsschiffe brauchbar zu machen, durch das Bassin *Novissima grande* einen Fangedamm schlug **) und diesen mittelst einer sehr einfachen Verstrebung gegen die 120 Fuss entfernten Mauern und Gebäude lehnte; diese Streben bestanden aus den grössten Stämmen der Edeltanne, die dort unter dem Namen Albec zu Masten benutzt werden, sie haben mitunter eine Länge von 40 Meter (127 Fuss) und sind am Stammende 3 bis 4½ Fuss stark.

Wenn der Baugrund bis zu einer grossen Tiefe aus einem weichen Schlamme besteht, in welchem die Pfähle keinen sichern Stand annehmen, so wird die Anlage von Fangedämmen sehr schwierig, indem dieselbe durch den Wasserdruck in die Baustelle hineingedrängt werden. Dieser Fall ereignete sich in Holland, als man die Eingangsschleusen zu den Hafenbassins vor Amsterdam erbaute ***), und das Mittel, welches man dagegen anwandte, bezog sich nur darauf, den Grund durch sehr starke Belastung zu comprimiren und ihn dadurch fester zu machen. Die gewöhnlichen schmalen und von Holzwänden eingeschlossenen Fangedämme können einen solchen Zweck nicht mehr erfüllen, es wird vielmehr nöthig, Erdmassen in sehr breiten Profilen aufzuschütten und dadurch einen Druck zu erzeugen, der nach und nach den Untergrund befestigt, in ähnlicher Art, wie Telford die Eingangsschleuse am östlichen Ende des Caledonischen Canales bei Clachnacarry erbaute, wovon früher die Rede gewesen ist (§. 33).

Unter manchen Umständen kann man die Fangedämme nicht mit dem Grunde, auf welchem sie stehen, in gehörige Verbindung setzen, indem das Einrammen von Pfählen entweder wegen der

*) *Practical treatise on bridge-building by Cresy.*

**) *Nouvelle Collection de dessins etc.*

***) Henz, der Hafen von Amsterdam; in den Verhandlungen des Gewerbevereins 1832. S. 172.

grossen Tiefe oder wegen des unreinen und felsigen Bodens nicht möglich wird; ein interessantes Beispiel dieser Art war der Fangedamm, welcher bei der Aussprengung des Vorhafens für den Kriegshafen zu Cherbourg die Mündung desselben gegen die See schloss. Diese Mündung war auf einer Stelle gewählt worden, wo das natürliche Ufer zurücktrat und wo sich die erforderliche Wassertiefe schon vorfand; die beiden Hafendämme, welche auf der Nord- und Südseite sie begrenzen, bestehen grossentheils nur aus einer Schüttung von den Steinen, welche bei den Sprengungsarbeiten gewonnen wurden; sie folgen indessen einigermaassen dem Zuge des natürlichen Ufers und den davorliegenden Felsbänken, woher die Wassertiefe darunter und namentlich auf ihrer innern Seite nicht so bedeutend ist; der Wasserzudrang verminderte sich hier aber noch durch die grosse Breite dieser Hafendämme, sowie auch dadurch, dass man nicht nur die grössten Steine, sondern das sämmtliche beim Sprengen gewonnene Material zu ihrer Schüttung benutzte. Um die Sprengungsarbeiten im Hafen bis zu der erforderlichen Tiefe, nämlich bis 30 Fuss unter dem Wasserstande der Ebbe fortzusetzen, musste noch die erwähnte Mündung mittelst eines Fangedammes geschlossen werden. Dieser bestand in einem grossen gezimmerten Kasten, dessen Länge mit der Breite der Mündung übereinstimmte und 142 Fuss betrug, er war am Boden 84 Fuss breit, oben 44 Fuss und seine Höhe maass 45 Fuss. Er bestand eigentlich nur aus einer vordern und einer hintern Wand; Boden und Seitenwände fehlten ihm, damit die eingeschüttete Erde alle Unebenheiten, die sie berührte, ausfüllen und sich an recht vielen Punkten mit dem Grunde und mit den Dossirungen der Hafendämme verbinden konnte. Man hielt indessen diese Kasten allein noch nicht für ausreichend, um dem Drucke des Wassers und dem Wellenschlage gehörigen Widerstand zu leisten, daher schüttete man an der innern Seite eine schräge ansteigende Erddossirung von etwa 45 Fuss Breite noch dagegen, deren Fuss sich an eine verstrebte dichte Holzwand lehnte.*)

In andern Fällen, wo Fangedämme auf einem zusammenhängenden Felsboden erbaut sind, hat man sie noch dadurch gegen

*) In Sganzin's *programme* ist ein Querschnitt dieses Fangedammes mitgetheilt.

das Verschieben durch den Wasserdruck gesichert, dass Bohrlöcher in den Grund getrieben und eiserne Dübel oder Anker daselbst eingelassen wurden. Dieses Verfahren ist unter andern auch beim Bau der Schleuse zu Corpach, welche auf der westlichen Seite den Eingang in den Caledonischen Canal bildet, angewendet worden. *)

Wo der Fangedamm gegen ein höheres Ufer ausläuft, da muss er in dasselbe noch eine Strecke hineingeführt werden, damit zwischen beiden nicht das Wasser durchdringen kann. Der Anschluss eines Fangedammes gegen Felsen, sowie gegen Mauern und überhaupt gegen fremdartige Körper, welche sich mit der Erde nicht innig verbinden, giebt leicht Veranlassung, dass das Wasser hier einen Durchzug findet. Um diese Besorgniss zu entfernen, muss man in solchem Falle die Breite des Dammes vergrössern, damit die Berührung, wenn sie auch nicht so innig ist, doch auf eine grössere Fläche sich ausdehnt und dadurch der Strömung um so mehr Hindernisse entgegengestellt werden. Ferner ist es sehr vortheilhaft, die Fläche möglichst uneben zu machen und sie auch wohl, wenn es sein kann, mit tiefen Querschnitten zu versehen; auch wendet man in solchem Falle zuweilen noch anderes Material, als die Erde, zur Bewirkung eines bessern Schlusses an; hierher gehört namentlich der Mist, von dem man meint, dass er an Steinen fester haftet als die Erde. Auch Latten, die mit Stroh umwunden sind, stösst man wohl in den Ecken des Fangedammes neben den Mauern oder an steilen Felsen ein. Beim Bau der Brücke zu Moulins über den Allier führte Régemortes über dem Bohlenboden, den er versenkt hatte, noch einen Fangedamm auf, um das Wasserschöpfen nicht über die ganze Baugrube ausdehnen zu dürfen. Dieser Fangedamm bestand aus hölzernen Kasten, die auch mit einem Boden versehen waren. Es wird angeführt, dass dieser Boden aus zweizölligen Bohlen gebildet war, denen man unten durch Einhauen eine rauhe Fläche gegeben hatte, damit sie um so besser haften möchten, und man streute vorher etwas Thon auf die Stelle, worauf sie ruhen sollten.

In ähnlicher Art, wie in dem Anschlusse gegen fremdartige Körper, pflegt die Füllerde auch in den scharfen Ecken eines Fangedammes eine sehr lockere Lage zu behalten, indem eben

*) *Life of Telford. pag.* 305.

wegen der vielfachen Berührung mit den Wänden ein gehöriges Setzen nicht erfolgen kann. Es kommt aber auch noch dazu, dass die umschliessenden Holzwände sich in solchen scharfen Ecken auch nicht so dicht darstellen lassen, wenigstens wird dieses immer der Fall sein, wenn man keine Spundwände benutzt. Die letztern sind freilich zur Bildung jeder beliebigen Ecke geeignet, indem man sie nur gegen gehörig geformte Nuthpfähle stellen darf. Man bemüht sich indessen immer, soviel es geschehen kann, bei Fangedämmen die scharfen Ecken zu vermeiden, und wo die Richtung derselben etwa unter einem rechten, oder gar unter einem spitzen Winkel verändert werden muss, da pflegt man die Ecke zu brechen und dafür zwei stumpfe Winkel darzustellen; die Holme werden in allen Ecken des Fangedammes überblattet. In England ist es ganz gewöhnlich, die Fangedämme nicht in gebrochenen Linien, sondern in Kreisbögen um die Baustelle zu führen, wodurch man noch den Vortheil erreicht, dass sie nicht leicht eingedrückt werden können und vielmehr wie ein horizontales Gewölbe dem Drucke einen starken Widerstand entgegensetzen, was namentlich bei einem weichen Untergrunde von grossem Nutzen sein kann.

Es bleibt noch übrig, zu untersuchen, auf welche Art man den Fangedamm am sichersten undurchdringlich gegen das Wasser macht. Die Holzwände darin sind in der Regel nicht mit der Sorgfalt bearbeitet, dass sie diesen Zweck erfüllen könnten; unmöglich wäre dieses freilich nicht, indem Holzwände in vielen andern Fällen nicht nur einen starken Wasserdruck abhalten, sondern sie dabei auch einen genügenden Schluss zeigen; dieses geschieht z. B. in den Schützen der Freiarchen, in den Thoren der Schiffsschleusen, bei den Dammbalken und in andern Verbindungen, man hat zuweilen auch durch eine besonders sorgfältige Bearbeitung einer einfachen Wand die gewünschte Wasserdichtigkeit gegeben, so dass sie allein die Stelle des Fangedammes versah und auf diese Art die Erdschüttung und die übrigen sonst nothwendigen Verbindungen erspart wurden, wogegen aber eine sehr starke Verstrebung hierbei immer ein Haupterforderniss blieb. Es ist bereits angeführt worden, dass dieses bei dem Fangedamme zu Carlscrona wirklich durch die Spundwand erreicht wurde. Auch in Frankreich hat man in neuerer Zeit beim Bau der Schiffs-

schleuse im Hafen zu la Rochelle und ebenso bei Anlage der trocknen Docke im Hafen zu Lorient durch einfache Pfahlwände, die sehr stark verstrebt waren, den hohen Wasserstand abgehalten. Andererseits hat man auch Versuche gemacht, dergleichen Holzwände, wenn sie nicht mit hinreichender Sorgfalt bearbeitet waren, dadurch zu dichten, dass man wasserdichte Leinwand davor abrollte. Beaudemoulin stellte hierüber Versuche an und fand, dass man auf diese Art ganz sicher einen Wasserdruck von 1,4 Meter oder 4½ Fuss abhalten und zugleich auch das Durchsickern verhindern konnte. Er empfiehlt daher besonders hiervon Gebrauch zu machen, sobald man bemerkt, dass die auf gewöhnliche Art construirten Fangedämme sehr undicht werden und stellenweise das Wasser stark durchlassen.

Zum Füllen des Fangedammes muss man jedesmal eine feine, recht gleichmässige Erdart wählen, welche gut bindet, ohne sich beim Einschütten sogleich in einen weichen Brei zu verwandeln und ohne Höhlungen in sich entstehen zu lassen. Eine Hauptbedingung ist es aber, dass keine Holzstücke oder andere fremdartige Körper mit hineingeworfen werden, oder vielleicht schon beim Bau des Fangedammes hineingebracht sind, denn neben diesen findet das Wasser immer einen sehr leichten Durchgang. Bei den englischen Fangedämmen können die durchgezogenen Bolzen in dieser Beziehung auch als nachtheilig angesehen werden. An den eisernen Bolzen wird indessen die Erde immer leichter haften, als an Holz und besonders wenn der Bolzen zu rosten anfängt; dazu kommt aber noch, dass er wegen seiner geringen Dicke auch keine grosse Oberfläche bildet. Alle diese Bolzen sind endlich auch über dem niedrigen Wasser befindlich und sonach hindern sie die gehörige Ablagerung der Erde im untern Theile des Fangedammes keineswegs, denn wo sie vorkommen, da kann die Erdschüttung schon nachgerammt werden, und wenn dieses geschehen ist und die weitere Füllung in dünnen Schichten und unter stetem Anstampfen erfolgt, so lässt sich jeder freie Raum daneben vollständig beseitigen und sonach wird der Nachtheil dieser Bolzen sehr geringe oder er verschwindet ganz. Gewöhnlich wird ein recht zäher Thon für das beste Material zur Füllung des Fangedammes gehalten, und wenn es auch nicht bezweifelt werden kann, dass diese Bodenart, wenn sie in dünnen

Schichten von unten auf eingebracht und angestampft werden könnte, die Wasserdichtigkeit am sichersten darstellen würde, so treten ihrer Anwendung in tiefem Wasser doch manche Schwierigkeiten entgegen. Man darf den Thon nicht in sehr nassem Zustande benutzen, weil er sonst beim Einschütten vollends erweicht und alsdann eine dicke Flüssigkeit bildet, die selbst durch die Fugen hindurchdringt; man wirft ihn also klumpenweise, wie er gestochen wird, in den Fangedamm hinein; dadurch verhindert sich aber seine dichte Ablagerung, die man auch nicht füglich früher befördern kann, bis man mit der Schüttung über Wasser gekommen ist, was man gewöhnlich möglichst schnell zu erreichen sucht, um das starke Aufweichen zu verhindern; liegt der Thon alsdann aber schon mehrere Fuss hoch, so wirkt die Handramme, oder die Stampfe, die man benutzt, nicht mehr bis zur ganzen Tiefe herab und so können leicht bedeutende Höhlungen sich unten gebildet haben, die sich nicht beseitigen lassen und deren Vorhandensein man auch nicht früher bemerkt, als bis man beim Beginne des Wasserschöpfens starke Quellen durch den Fangedamm hindurchdringen sieht. Es zeigt sich hierbei aber auch noch der zweite Uebelstand, dass die Wasseradern, die sich zufällig in solchem Boden bilden, die feinen Thontheilchen, die sie berühren, aufnehmen und mit Leichtigkeit durch die engsten Fugen hindurchführen. Auf diese Art erweitern sich also die Adern immer mehr und die Zähigkeit des Thones ist selbst wieder Veranlassung, dass die obere Decke eines solchen feinen Canales nicht einstürzt, sondern wie ein Gewölbe sich sehr sicher erhält. Man darf sonach, wenn die Ausfüllung des Kastens in tiefem Wasser geschehen muss, von der Anwendung eines recht steifen Thones nicht den günstigsten Erfolg erwarten, vielmehr können sich hier noch stärkere Wasseradern bilden, als selbst bei einer Sandschüttung zu besorgen waren. Schon Perronet erwähnt bei Gelegenheit des Baues der Brücke zu Neuilly, dass der fette Thon zum Füllen der Fangedämme nicht passend sei, indem er zu viele Höhlungen bilde, die man selbst in dem Falle nicht beseitigen könne, wenn man ihn auch unter Wasser stampfen wollte und dass daher die gewöhnliche Ackererde vorzuziehen sei.

Beim Sande, den man gewöhnlich als ganz untauglich zum Füllen der Fangedämme ansieht, können die erwähnten Uebelstände

nicht eintreten, und wenn man dabei einiges Durchsickern auch nie ganz vermeidet, so ist man doch wenigstens vor dem Entstehen sehr starker Quellen gesichert. Wenn aber die innere Holzwand, wogegen der Sand sich lehnt, recht dicht ist, so dass einzelne Sandkörnchen nicht hindurchdringen können, so lagern sie sich bei dem eintretenden Wasserdrucke von der einen Seite und vermöge der geringen sich dabei bildenden Strömung noch um so fester gegen die Wand und vermehren hierdurch den guten Schluss. Es soll später bei Gelegenheit der Schifffahrtscanäle erwähnt werden, welche ausserordentlichen Vortheile man in neuerer Zeit sowohl in Frankreich als auch in England vom feinen Sande gezogen hat, um das Durchsickern des Wassers zu verhindern. Es fehlt auch nicht an Beispielen, welche zeigen, dass Fangedämme aus Sand und besonders aus feinem Sande das Wasser sehr gut abhielten, der Fig. 231 dargestellte auf Böcken erbaute Fangedamm ist nur mit Sand beschüttet und er hielt nicht nur das Wasser gehörig ab, sondern als die Cure plötzlich anschwoll und ihn ½ Meter oder 19 Zoll hoch überströmte, so litt er dabei gar nicht. Auch in manchen andern Fällen und namentlich bei den Bauten an den Meeresküsten, wo man aus Mangel an andern Materialien zuweilen den ganz reinen Sand zu Fangedämmen benutzen musste, haben diese ihren Zweck ganz genügend erfüllt. Hierher gehört auch, dass man einen Fangedamm beim Bau der Humber-Docke in Hull, der jedoch nur das Fluthwasser von der Baustelle abhalten sollte, zwischen den beiden dichten Pfahlwänden mit Ziegelmauerwerk anfüllte, wobei die Steine nicht in Mörtel, sondern nur in Sand verlegt waren. *)

In neuerer Zeit hat man auch mehrfach versucht, durch besondere Beimischungen die natürliche Erde, wie sie gerade in der Nähe zu haben war, für die Füllung der Fangedämme geeigneter zu machen. So setzte man schon bei den Bauten am Canale St. Martin zu diesem Zwecke der sandigen Erde $\frac{1}{25}$ bis $\frac{1}{20}$ ihres Volums an Kalk zu und beim Bau der Brücke du Sault über die Rhone wurde der sehr strenge Boden mit $\frac{1}{10}$ Kalkbrei vermengt und stark durchgearbeitet, bevor man damit den Fangedamm füllte. Hughes äussert sich auch dahin, dass der strenge Thon (*clay*)

*) *Transactions of the Institution of Civil Engineers. I. p.* 15.

ohne Beimischung bei tiefem Wasser nicht angewendet werden darf, indem er sich nicht dicht ablagert und man in diesem Falle ihm noch andere Stoffe beisetzen muss. Als eine vortreffliche Mischung zum Füllen der Fangedämme empfiehlt er drei Theile reinen Klai, zwei Theile Kreide (*chalk*) und einen Theil Kies (*gravel*); die beiden letzten Bestandtheile sollen klein geschlagen werden, so dass kein Stein grösser als ein Hühnerei bleibt, und Alles ist vor dem Gebrauche tüchtig durchzurühren. Dabei wird noch bemerkt, dass es in England üblich sei, den Fangedamm oben einen Fuss hoch in Ziegeln auszumauern, Hughes meint jedoch, dass man eine eben so feste und noch dichtere und zugleich viel wohlfeilere Decke darstellen kann, wenn man eine Bétonlage von recht grobem Kiese aufbringt.

Endlich wären hier noch die Mittel zu erwähnen, die man in Anwendung bringen kann, sobald man bemerkt, dass der Fangedamm seinen Zweck nicht erfüllt und grosse Wassermassen hindurchtreten; eine Stopfung, die man auf der innern Seite anbringen wollte, würde leicht durch das Wasser herausgedrängt werden, und wenn überdies die Wasseradern schon durch den ganzen Damm hindurch bis gegen die innere Seitenfläche dringen, so bilden sie sich, sobald ein Ausweg hier verstopft wird, sogleich einen andern in der Nähe. Wenn also der Leck gedichtet werden soll, so kann dieses nur auf der äussern Seite oder im Innern des Dammes geschehen. Von aussen verhindert indessen der Wasserstand eine solche Arbeit unmittelbar vorzunehmen, und es bleibt nur übrig, Gegenstände zu versenken, die vielleicht eben durch die hindurchdringende Wasserader gefasst und vor die Oeffnung gelegt werden. Zu diesem Zwecke dürfte sich die wasserdichte Leinwand recht gut eignen, auch gelingt es zuweilen, davorgeschütteten Mist, der mit viel Stroh vermengt ist, in die Oeffnung hereinzuziehen und selbige dadurch zu sperren. Das Mittel aber, welches in ähnlichen Fällen bei Canälen mit so überraschendem Erfolge angewendet ist, lässt auch für die Dichtung der Fangedämme wenigstens in vielen Fällen dasselbe erwarten. Man schüttet nämlich recht weit verbreitet feinen Sand in das Wasser vor die Stelle, wo man die Wasseradern vermuthet; die einzelnen Sandkörnchen sinken sehr langsam zu Boden und sie folgen daher jeder Seitenbewegung des Wassers. Auf solche Art

werden sie zum Theil auch in den Fangedamm hineingezogen und finden hier leicht ein Hinderniss, welches sie zurückhält; so kann es geschehen, dass ein Körnchen sich an das andere lagert, bis zuletzt die Ader gesperrt ist. Die geringe Mühe, womit ein solcher Versuch sich anstellen lässt, dürfte ihn rechtfertigen, wenn man auch wenig Zutrauen dazu hat, und es ist gewiss, dass ein Misslingen dabei leichter als bei einem Canale ist, wo die Wasserader durch einen viel längeren Weg sich hindurchziehen muss und wo daher solche zufällige Hindernisse für die einzelnen Sandkörnchen weit eher stattfinden können. Gewöhnlich bemüht man sich, eine undichte Stelle im Fangedamme dadurch zu verbessern, dass man die entstandene Höhlung im Innern zu beseitigen sucht; man rammt die schadhafte Stelle recht fest an, und wenn dieses noch nichts hilft, so gräbt man die Erdschüttung so tief auf, als der Wasserstand dieses erlaubt und wendet dann wieder die Ramme an, oder man baggert auch die Erde aus und füllt die Stelle ganz neu. Hierbei muss man natürlich die Baugrube voll Wasser laufen lassen, denn wenn die Strömung während dieser Arbeit immer hindurchginge, so würde die Sperrung der Ader um so schwieriger werden.

Die Grundfangedämme haben, wie bereits erwähnt, den Zweck, das Durchströmen des Wassers in der Sohle der Baugrube zu verhindern; sie finden daher in einem leicht durchdringlichen Kiesboden, sowie auch im Sandboden ihre Anwendung; denn wenn der Sand auch eine ziemlich dichte Seitenwand bilden kann, so lässt sich das von unten heraufdringende Wasser durch ihn doch nicht zurückhalten, er giebt vielmehr der Strömung nach und lagert sich so lose, dass er Triebsand bildet, wodurch die Quellen noch an Stärke zunehmen. Diese Durchströmung und sonach auch die Auflockerung des Grundes wird verhindert, indem man darüber eine für das Wasser undurchdringliche Schicht anbringt und man nennt eine solche den Grundfangedamm. Die Betonbettungen sind eigentlich sehr nahe dasselbe, da diese jedoch zugleich das untere Banket des Fundamentes bilden und ihre vielfache Anwendung in neuerer Zeit eine ausführlichere Beschreibung erfordert, so soll später von ihnen besonders die Rede sein.

Die wichtigste Anwendung eines Grundfangedammes machte Régemortes beim Bau der Brücke zu Moulins über den Allier.

Das Flussbette bestand aus feinem Sande und die ausgeführten Bohrungen zeigten, dass dieser wenigstens auf 47 Fuss Tiefe herabreichte. Die Brücke, welche der bekannte Hardouin Mansard daselbst im Jahre 1705 erbaut hatte, war wenige Jahre später bei einer Fluth eingestürzt und die Veranlassung dazu lag in den tiefen Auskolkungen, die sich neben den Brückenpfeilern bildeten, deren Wirkung man aber nicht durch eine tiefere Fundirung hatte vorbeugen können, indem kein Pfahl weiter als höchstens bis auf 15 Fuss einzurammen gewesen war. Régemortes stellte sich nun die Aufgabe, das ganze Flussbette unter der Brücke zu befestigen, so dass eine Auskolkung nicht mehr möglich sein sollte; um dieses zu bewirken, war es aber nothwendig, eine wasserfreie Baugrube darzustellen. Inwiefern dieses möglich sei, sollte ein Versuch neben dem Ufer des Flusses entscheiden. Es wurde eine Grube von 42 Fuss Länge und Breite ausgehoben, mit Pfahlreihen und Spundwänden eingefasst und alsdann bis 6 Fuss unter den Sommerwasserstand ausgebaggert, darauf stellte man zwei Kettenpumpen hinein, doch konnte man mittelst derselben das Wasser nur um 15 Zoll senken. Nunmehr wurde ein Fangedamm aus Erde rings herum angebracht, so dass die Grube nur noch 30 Fuss in der Seite maass, dieselben Schöpfmaschinen senkten darauf das Wasser Anfangs auf 4 Fuss, doch bald fing es wieder an zu steigen und liess sich nicht mehr tiefer als bis auf 18 Zoll unter das Wasser des Flusses senken. Das anfänglich tiefere Herabsinken schien von den Erdtheilchen herzurühren, die sich beim Schütten der Fangedämme gelöst hatten und auf die Sohle niedergefallen waren. Nunmehr wurde noch die Sohle 4 Zoll hoch mit Erde bedeckt und darauf gelang es, das Wasser sehr schnell bis auf 5 Fuss zu senken, doch hob es sich nach und nach und stieg während des Pumpens zuletzt wieder auf 18 Zoll, wie es früher gewesen war.

Dieser Versuch entschied für das Project, den Boden mit Thon zu bedecken, aber zugleich durch eine andere Beschwerung zu verhindern, dass der Thon nicht aufgespühlt werden konnte. Es wurden zuerst fünf Reihen Spundpfähle eingerammt, nämlich zwei derselben oberhalb der Brücke und drei unterhalb. Sie erstreckten sich sämmtlich von einem Ufer bis zum andern und die zweite und die dritte Spundwand trafen auf die Ecken der Köpfe

vor den Brückenpfeilern. Alle vier Räume zwischen den Spundwänden mussten nun bedeckt werden; man baggerte sie zuerst bis zu der erforderlichen Tiefe aus und da sich auf diese Art noch nicht ein so ebener Grund darstellte, als er zur Aufbringung der Thondecke nöthig war, so wurde noch eine besondere Ausgleichung desselben durch Abstreichen vorgenommen. Es war nämlich eine hölzerne Schiene an einem Fahrzeuge befestigt und sie konnte so gerichtet werden, dass ihr unterer Rand horizontal und in eine jede beliebige Tiefe zu stellen war. Wurde nun das Fahrzeug durch Winden vorwärts bewegt, so strich die Schiene längs dem Boden und ebnete ihn.

War dieses geschehen, so erfolgte die Versenkung des Thones, der den Boden bedecken sollte. Ein Rahmen von 13 Fuss Breite und 60 Fuss Länge hing zwischen zwei Fahrzeugen; der Boden desselben war gitterartig aus einzelnen Stäben zusammengesetzt und die Oeffnungen dazwischen von 8 Zoll Breite liessen sich durch Klappen schliessen, die nach unten aufschlugen; Fig. 238 Taf. XX zeigt diese Anordnung im Querschnitte und zwar *a* in der Stellung, wenn die Klappen geschlossen und *b* wenn sie geöffnet sind. In beiden Figuren bezeichnet *B* den festen Rahmen und *A* den Hebel, der zur Bewegung der Klappen dient; von diesen Hebeln waren im Ganzen zehn angebracht. Der Rahmen wurde, nachdem die Klappen geschlossen waren, ganz gleichmässig 1 Fuss hoch mit zähem und zerschlagenem Thone angefüllt, und sobald man die Klappen öffnete, so fiel der Thon eben so gleichmässig auf das geebnete Bette zwischen den beiden Spundwänden herab. Es war dafür gesorgt, dass der Rahmen ganz regelmässig verstellt werden konnte, so dass keine Stelle der Baugrube unbeschüttet blieb und auch keine zweimal beschüttet wurde. Die obern horizontalen Bäume, welche die Figuren zeigen und welche beim Niederlegen der Hebel auf den Rahmen herabgedrückt wurden, dienten als Lehren beim Einbringen und Abstreichen des Thones, letzteres geschah, indem ein grosses Lineal der Länge nach über den Rahmen hingeführt wurde.

War diese Arbeit vollendet, so erfolgte die Ueberdeckung der Thonschicht; dieses geschah mittelst Tafeln von 12 Fuss Länge und 12 Fuss Breite, die aus ¾zölligen Dielen mit übernagelten Leisten zusammengesetzt waren. Alle Tafeln, welche neben den

Spundwänden zu liegen kamen, wurden an der Seite, wo sie die letztern berührten, nach deren Form genau ausgeschnitten; eine Latte, welche man nämlich senkrecht längs der innern Seite der Spundwand so hinzog, dass ihr vortretendes unteres Ende in der Höhe des Bodens die Spundwand berührte, bezeichnete durch ihre Ausweichungen alle Unebenheiten, die hier vorhanden waren, und man konnte diese sonach auf der Tafel gleichfalls darstellen und so einen dichten Schluss bewirken. Das regelmässige Versenken der Tafeln geschah, indem an den Ecken jeder Tafel eine Leitschiene aufgeschroben war, die bei der Versenkung der Tafel selbst schon benutzt wurde, um sie regelmässig herabzulassen, aber gegen diese Leitschienen liessen sich auch die der benachbarten Tafel befestigen, wodurch die letzte regelmässig und dicht schliessend niedergelegt wurde. Um jedoch einen noch bessern Schluss hervorzubringen, waren Streifen von Zwillich auf die Ränder genagelt. Die Leitschienen wurden nicht früher ausgeschroben und entfernt, als bis die benachbarten Tafeln bereits am Boden lagen. Um ein Wiederaufschwimmen der Tafeln zu verhindern, hatte man dieselben schon beim Herablassen mit kleinen Steinen in der Mitte beschwert.

Nachdem auf solche Art der Boden gedichtet war, führte man erst die Fangedämme auf und setzte die Schöpfmaschinen in Bewegung; das Wasser senkte sich regelmässig und die Baugrube wurde trocken. Der Wasserstand über dem Boden betrug 8 Fuss und alle erwähnten Arbeiten waren in der Tiefe von 8 bis 9 Fuss unter Wasser ausgeführt. Auf den Tafeln, die nunmehr eine gleichmässige und starke Beschwerung erhielten, wurden die Brückenpfeiler fundirt, so dass jene ungefähr die Stelle eines liegenden Rostes vertraten, aber auch der ganze Raum, sowie oberhalb und unterhalb der Brücke, wurde 6 Fuss hoch ausgemauert und der obere Theil dieses Mauerwerks bestand in einem regelmässigen 18 Zoll hohen Pflaster. Die äussern Spundwände erhielten Fachbäume, die mit der Oberfläche des Pflasters bündig waren, über die innern Spundwände wurde dagegen das Mauerwerk herübergeführt. Bei diesem ganzen Bau ereignete sich kein namhafter Unfall und die Brücke hat sich, soviel bekannt geworden, gut gehalten; zur Zeit des niedrigen Sommerwasserstandes beträgt die Wassertiefe über den Fachbäumen oder der

Grundmauer 2 Fuss. Die Brücke hat 13 Bögen, jeden von 60 Fuss Spannung, während die Profilweite der frühern Brücke kaum die Hälfte davon betrug. *)

Beim Bau der Spühlschleuse in Dieppe, die in einem Caisson, also ganz ohne Wasserschöpfen erbaut wurde, wendete Cessart gleichfalls eine Thonschüttung an, um die Bildung starker Wasseradern dicht unter dem Schleusenboden zu verhindern. Die Maschine, die er zum Versenken des Thones benutzte, war der beschriebenen sehr ähnlich und unterschied sich nur insofern davon, als die einzelnen Klappen sich unmittelbar berührten und sich um Axen bewegten, welche an dem Rahmen befestigt waren; auf solche Art konnten die starken Gitterstäbe entbehrt werden. Der Thon war vor dem Gebrauche gut getrocknet und pulverisirt. Zur Bedeckung des Thones dienten Moosmatratzen, auf denen der Boden des Caissons oder der liegende Rost ruhte; nichts desto weniger wurde durch alle diese Vorsichtsmaassregeln das Durchströmen des Wassers doch nicht verhindert und die Schleuse stürzte nach wenig Jahren ein. Es war jedenfalls viel gewagt, dass man durch einen Bau, der nur auf den Kiesboden gestellt war und nirgend in denselben hineingriff, den hohen Wasserstand der Fluth abhalten wollte, der zur Zeit der Springfluthen sich hier 30 Fuss über die Ebben erhebt.

Schliesslich mag hierbei noch erwähnt werden, dass die Bedeckung des Sandes mit Thon in der Sohle der Flussbetten auch zuweilen zu einem andern Zwecke vorgenommen worden ist; so geschah dieses durch Rennie beim Bau der Lary-Brücke bei Plymouth. Es zeigten sich nämlich sehr bedenkliche Auskolkungen neben den Brückenpfeilern, so dass man für deren Erhaltung besorgt wurde, und man überdeckte deshalb das Bette mit einer starken Thonschüttung, worüber noch eine zwei Fuss hohe Lage grosser Steine kam, von denen jeder einzelne etwa einen Cubikfuss maass.

*) Die ausführliche Beschreibung dieses ganzen Baues, erläutert durch sehr klare Zeichnungen, enthält das bereits citirte Werk von Régemortes: „*Description du nouveau pont de pierre construit sur la rivière d'Allier à Moulins.* 1771."

§. 45.

Trockenlegung der Baugrube.

Das Ausschöpfen tiefer Baugruben, welches bei den gewöhnlichen Fundirungsarten nicht umgangen werden kann, ist häufig mit grossen Schwierigkeiten verbunden, und namentlich in dem Falle, wenn der Bau in der Nähe eines Flusses oder eines Sees oder Sumpfes vorgenommen wird und der Boden von der Beschaffenheit ist, dass er die Quellen mit Leichtigkeit hindurchdringen lässt. In derselben Art wie ein Brunnen, der an einer solchen Stelle ausgeführt wird, nicht versiegt, so sammelt sich das Wasser auch in der Baugrube immer sehr schnell an, und jemehr man es durch Pumpen oder Schöpfen senkt, um so heftiger wird auch der Zufluss, indem der Wasserdruck, unter welchem die Quellen hineintreten, sich eben durch diese Senkung vermehrt. Die Schwierigkeiten, welche der Trockenlegung der Baugrube sich entgegenstellen, werden zuweilen so gross, dass man mit den vorhandenen Schöpfmaschinen gar nicht ausreicht, denn wie kräftig diese auch sein mögen, so setzt die Vermehrung des Zuflusses bei der zunehmenden Senkung des Wasserspiegels ihrer Wirksamkeit doch endlich eine Grenze, und so giebt es jedesmal eine gewisse Tiefe, bei der eben so viel Wasser zufliesst, als die Maschine hebt, und alsdann ist eine fernere Senkung nicht mehr möglich. Dieser tiefe Wasserstand findet aber auch nur gerade in der Zeit statt, wo die Maschine in voller Wirksamkeit erhalten wird; sobald eine Unterbrechung stattfindet, so steigt sogleich das Wasser und die Maschine muss wieder einige Zeit hindurch gearbeitet haben, bevor die Senkung bis zur früheren Tiefe erfolgt. Sehr vortheilhaft ist es, wenn die erwähnte Grenze oder die Tiefe, bis zu welcher die Maschine das Wasser senken kann, weit unter der Sohle der Baugrube liegt; in diesem Falle darf das Pumpen auch nicht ununterbrochen fortgesetzt werden, denn das Grundwasser in der Baugrube und zugleich in der nächsten Umgebung lässt sich so tief senken, dass eine geraume Zeit verstreicht, bevor es sich wieder so weit gehoben hat, um den Fundirungsarbeiten hinderlich zu werden. Wenn dagegen jene Grenze der Wirksamkeit eben in diejenige Höhe fällt, bis zu welcher die

Senkung stattfinden muss, wenn der Rost gelegt oder der sonstige Grundbau vorgenommen werden soll, so darf die Maschine gar nicht zum Stillstande kommen, indem dadurch sogleich eine Unterbrechung der Arbeit veranlasst werden würde; man muss in solchem Falle schon einige Stunden vor dem Anfange der eigentlichen Arbeitszeit an jedem Morgen das Wasserschöpfen beginnen lassen, um den Zufluss, der während der Nacht nicht entfernt war, zu beseitigen, und noch vortheilhafter ist es, wenn zur möglichsten Beschleunigung dieser Arbeiten, die eine so tiefe Senkung des Wassers erfordern, auch während der Nacht gar keine Unterbrechung, weder im Wasserschöpfen, noch im eigentlichen Bau eintritt. Endlich ereignet es sich auch zuweilen, dass die Maschinen, die man aufgestellt hat, die nöthige Senkung gar nicht bewirken können, und man muss alsdann mit grossem Zeitverluste, der wieder mit einer Vermehrung der Kosten verbunden ist, die Anzahl oder die Wirksamkeit der Maschinen vermehren und vielleicht sogar zu einer andern Fundirungsart übergehen, die eine minder tiefe Senkung des Wassers erfordert; es kann auch geschehen, dass man die Baustelle verlassen und auf einer andern passendern Stelle aufs Neue den Versuch machen muss, die gewünschte Tiefe zu erreichen. Wie störend und kostspielig solche Unterbrechungen sein können, besonders wenn sie ganz unerwartet eintreten, bedarf keiner nähern Auseinandersetzung; es muss jedoch noch darauf hingewiesen werden, dass durch die Aufstellung einer recht kräftigen Maschine, wodurch die Baugrube wirklich trocken gelegt wird, sich keineswegs alle Schwierigkeiten beseitigen, indem eben die starke Strömung, welche sich durch den Baugrund hindurchzieht, denselben so auflockern kann, dass er die nöthige Festigkeit verliert.

Die Vorsichtsmaassregeln zur Vermeidung solcher Unannehmlichkeiten beziehen sich zunächst darauf, dass man dafür sorgt, den Wasserzudrang möglichst zu schwächen. Dieses geschieht, indem man, soweit es geschehen kann, für die Baustelle den passendsten Platz aussucht, oder sie dahin verlegt, wo der Boden mehr thonig als sandig und kiesig ist, und wo der Fluss sich etwas weiter entfernt. In vielen Fällen wird indessen hier keine Wahl gestattet sein; doch jedenfalls ist es bei allen wichtigeren Bauten nothwendig, dass man durch Bohrungen sich schon

vorher von der Beschaffenheit des Grundes überzeugt, um darnach die Stärke des Wasserzudranges zu beurtheilen.

Der Wasserzudrang hängt indessen von der Höhe des Wasserstandes in den Flüssen oder der sonstigen in der Nähe befindlichen Wasserbecken ab, und da dieser nach der Jahreszeit veränderlich ist, so liegt ein grosser Vortheil darin, wenn diejenigen Arbeiten, wobei gerade die tiefste Senkung erforderlich ist, in der Zeit eingeleitet werden, wo auch die Flüsse das wenigste Wasser führen und überhaupt die grösste Dürre stattfindet; es pflegt dieses in den Monaten September und Anfang October der Fall zu sein. Sodann findet sich zuweilen auch die Gelegenheit, die unterirdischen Quellen, welche eine Baugrube füllen, schon früher, ehe sie dieselbe erreichen, aufzufangen und anderweit abzuleiten. Zu diesem Zwecke hat man die Anlage von Artesischen Brunnen in einiger Entfernung oberhalb der Baugrube empfohlen; im Allgemeinen möchte indessen hiervon wenig Nutzen zu erwarten sein. Die Brunnen müssen jedesmal überfliessen, wenn sie etwas helfen sollen, und man muss sich bemühen, ihre Ergiebigkeit durch Eröffnung recht tiefer Abflüsse möglichst zu vergrössern, denn jemehr Wasser man ihnen schon vorher entzieht, um so weniger werden dieselben Quellen der Baugrube zuführen. Endlich aber gehört hierher auch, dass man für möglichst dichte Fangedämme sorgt und sich überzeugt, dass auch unter denselben der Grund recht rein ist und nicht etwa dem Wasser einen leichten Durchfluss gestattet.

Die Trockenlegung der Baustelle lässt sich ferner, wenn auch die Zuflüsse nicht weiter zu vermindern sind, noch dadurch wesentlich befördern, dass man den Abfluss des Wassers erleichtert, oder sich bemüht, die Hubhöhe, soviel es irgend geschehen kann, zu vermindern. Der Effect der Schöpfmaschine ist das Product aus der Wassermenge, die in einer bestimmten Zeit, also etwa in einer Minute, gehoben wird, in die Hubhöhe; gelingt es, die letztere etwa auf die Hälfte zu reduciren, so kann im Allgemeinen dieselbe Maschine oder dieselbe Anzahl von Arbeitern noch einmal soviel Wasser fördern. Auf diesen Umstand wendet man häufig nicht die nöthige Aufmerksamkeit; so lässt man zuweilen, wenn gerade die Pumpen, die man benutzen will, eine gewisse Länge haben, das Wasser 6 Fuss und wohl noch höher

über den Fangedamm heben und verschwendet dabei unnöthiger Weise die zu dieser Mehrhöhe erforderliche Betriebskraft. Bei den Bauunternehmern ist das Vorurtheil auch sehr allgemein verbreitet, dass es auf die Hubhöhe gar nicht ankommt.

Wenn man indessen das Wasser auch nur eben über die Krone des Fangedammes ausgiesst, so kann auch schon hierdurch leicht eine merkliche nutzlose Vermehrung der Arbeit hervorgebracht werden. Der Fangedamm erhält nämlich eine solche Höhe, dass er noch gewisse höhere Wasserstände abzuhalten im Stande ist, finden diese aber gerade nicht statt, was doch der gewöhnliche Fall sein wird, so bleibt der äussere Wasserstand unter der Krone des Dammes und das Binnenwasser würde schon abfliessen können, wenn man es nur eben über jenes gehoben hätte. Man mag in diesem Falle nicht gern den Fangedamm durchschneiden, indem man ihn dadurch zu schwächen fürchtet; diese Besorgniss ist indessen wenig gegründet, denn indem der Einschnitt über Wasser geschieht, so kann man ihn immer sehr schnell und sicher, sobald es nöthig sein sollte, auch wieder schliessen, und eine undichte Stelle im Fangedamme, wenn sie in der Nähe seiner Krone vorkommt, ist jedenfalls viel weniger bedenklich, als wenn sie sich am Fusse des Dammes befindet. Hiernach rechtfertigt sich das Verfahren, welches man hin und wieder anwendet, dass man nämlich beim Beginne des Schöpfens die Füllungserde des Dammes vor den Pumpen bis gegen den Wasserspiegel ausgräbt, die beiden Bohlenwände in dieser Höhe etwa einen Fuss breit ausschneidet und eine Rinne hindurchzieht. Sobald das Wasser wieder steigt, so legt man, nachdem die Rinne herausgezogen ist, Brettstücke auf der innern Seite vor die Einschnitte in beide Wände und bringt in dünnen Lagen wieder bis zur passenden Höhe den Thon auf, den man recht fest anstampft. Indem das Steigen des Wassers gemeinhin langsam, auch nicht unerwartet erfolgt und eine wichtige Baustelle doch nie ohne Aufsicht bleiben kann, so findet hierbei gar keine Gefahr statt.

Andererseits hat man zuweilen auch gleich bei der Anlage des Fangedammes hölzerne Rinnen durch denselben hindurchgezogen; dieses Mittel wandte schon Perronet beim Bau der Brücke zu Neuilly an, und es kommt ganz gewöhnlich auch bei denjenigen Fangedämmen vor, welche nur den Wasserstand der Ebbe

abhalten sollen, da es in diesem Falle Gelegenheit giebt, einen Theil des Fluthwassers aus der Baugrube abzuführen. Die Rinne selbst lässt sich auch leicht hinreichend wasserdicht darstellen, aber es ist schwer, ihre Verbindung mit der Füllungserde genügend zu sichern. Besonders muss man aber befürchten, dass unter ihrem Boden sich starke Quellen hindurchziehen, indem eines Theils die Erde sich hier gar nicht fest dagegen stampfen lässt und andern Theils auch leicht später ein Setzen der Erde eintreten kann, an welchem die Rinne nicht Theil nimmt.

Eine andere Methode zur Vermeidung der überflüssigen Hubhöhe beruht darauf, dass man das gehobene Wasser in Hebern über den Fangedamm fliessen lässt; dieses Verfahren, welches vor geraumer Zeit in Metz angewendet wurde *), scheint sich vorzugsweise zu empfehlen, man muss dazu aber im Innern der Baugrube einen grossen Kübel einrichten, der das Wasser zunächst aufnimmt und dessen Umfassungswände übereinstimmend mit dem Steigen des Flusses erhöht werden können. Wenn der Heber aus gusseisernen Röhren besteht, so wird er seinen Dienst sehr regelmässig und sicher erfüllen, doch muss er an seinem obern Ende mit einer Füllröhre und hier sowohl, als an beiden Mündungen mit Klappen versehen sein, die sich leicht öffnen und schliessen lassen; ohne diese Einrichtung ist es schwer, ihn in Wirksamkeit zu setzen. Es wäre dabei aber noch darauf aufmerksam zu machen, dass er nicht zu enge sein darf und sein Querschnitt überhaupt der durchzuführenden Wassermenge entsprechend gewählt werden muss, weil er sonst schon eine grosse Druckhöhe zum Abführen des Wassers gebraucht. Man hat zuweilen auch die Pumpen selbst mit den Hebern verbunden, oder ihnen eine solche Einrichtung gegeben, dass sich die Hubhöhe nach dem jedesmaligen äussern Wasserstande von selbst modificirt; hiervon wird bei Beschreibung der Schöpfmaschinen die Rede sein.

Demnächst lässt sich auch der Wasserspiegel in dem Abzugsgraben zuweilen durch eine angemessene Leitung desselben senken und dadurch wieder die Hubhöhe für die Schöpfmaschinen vermindern; wenn dieses geschehen kann, so darf man eine solche Gelegenheit durchaus nicht unbenutzt lassen. So gelang es

*) Sganzin, *programme. I. 4. édition. p. 308.*

Régemortes, den Wasserspiegel in der Baugrube um 19 Zoll zu senken, indem er einen Canal längs dem Ufer des Allier-Flusses etwa 200 Ruthen stromabwärts zog, und bei mehreren Schleusen am Bromberger Canale war es sogar möglich, die Baugrube ohne alle Schöpfmaschinen trocken zu legen, indem man jedesmal das Gefälle der nächstfolgenden Schleuse benutzte und bis zu ihrem Unterwasser oder bis zur zweiten Canalstrecke den Abzugsgraben herabführte.

Endlich gehört hierher noch der Fall, dass zuweilen Quellen, die sich nicht stopfen lassen, aus den hohen Ufern der Baugrube nicht an deren Sohle, sondern in einiger Höhe darüber heraustreten; man würde sehr unrecht thun, wenn man diese zuerst bis zur grössten Tiefe herabfliessen lassen und sie alsdann mit dem andern Wasser gemeinschaftlich heben wollte. Sind sie an sich ganz unbedeutend, so wird es sich freilich nicht belohnen, für sie eine besondere Schöpfmaschine aufzustellen, im entgegengesetzten Falle ist es aber sehr vortheilhaft, sie möglichst hoch aufzufangen, wodurch die nöthige Hubhöhe der betreffenden Schöpfmaschinen vermindert wird.

Bei der Unsicherheit, die jedesmal ohnerachtet aller vorher angestellten Untersuchungen über die Stärke des Zuflusses statt zu finden pflegt, kann es als eine allgemeine Regel empfohlen werden, die Anordnungen so zu treffen, dass man nöthigenfalls mit den beigeschafften Maschinen auch eine viel grössere Wassermenge zu heben im Stande ist, als man erwarten konnte. Wenn hierdurch auch vielleicht und namentlich bei Anwendung von Dampfmaschinen nicht das Maximum des Nutzeffectes der Maschine erreicht wird, so entgeht man doch dem grossen Uebelstande, dass man bei einem unerwartet starken Zuflusse nicht den Bau unterbrechen darf; eine solche Unterbrechung ist aber besonders nachtheilig, wenn der zur Fundirung günstige Wasserstand des Flusses nur kurze Zeit hindurch anzuhalten pflegt und sonach eine Störung der Arbeit in dieser Periode vielleicht die Beendigung des Baues um ein ganzes Jahr verzögert.

Das Schöpfen des Wassers geschieht nicht in der Sohle der Baugrube selbst, weil man diese alsdann nicht wasserfrei machen könnte, und es ist bei allen Schöpfmaschinen und namentlich bei Anwendung von Pumpen immer sehr vortheilhaft, das Wasser

nicht unmittelbar über dem Boden zu schöpfen, woselbst es gar zu unrein ist, sondern man entnimmt es lieber in einer etwas grösseren Höhe, so dass die gröbsten erdigen Theilchen, die in diesem Falle sehr reichlich hinzugeführt werden, niedersinken können und nicht in die Maschine treten. Aus diesem Grunde pflegt man in der Baugrube selbst noch eine besondere Vertiefung oder den sogenannten Sumpf zu bilden; bei der Anlage desselben muss man aber sehr vorsichtig sein, dass hierdurch nicht etwa dem Wasser ein leichter Zutritt eröffnet wird; dieses wäre zu befürchten, sobald in geringer Tiefe unter der Sohle der Baugrube sich besonders poröse Schichten vorfinden. In solchen Fällen kann es nöthig werden, den Sumpf in seiner Sohle zu bedecken und ihn in den Seitenwänden wie einen Brunnen einzufassen, damit er möglichst wasserdicht wird und er sich nur von oben durch die Zuflüsse aus der Baugrube füllt.

Zuweilen kann man in einer Baugrube, wenn die Schöpfmaschinen im Gange sind, sehr deutlich bemerken, wie an einzelnen Stellen starke Quellen hervortreten; man versucht es alsdann, diese zu stopfen, doch ist im Allgemeinen der Erfolg davon wenig befriedigend, obgleich man hin und wieder dadurch auch vollständig den Zweck erreicht zu haben scheint. Es kommt hierbei vorzugsweise auf die Beschaffenheit des Grundes an; wenn derselbe sandig oder kiesig ist, so wird durch die Schliessung derjenigen Oeffnung, durch welche das Wasser bisher hervorquoll, der vermehrte Druck im Innern sogleich zur Entstehung eines neuen Ausflusses Veranlassung geben. Bei einem mehr thonhaltigen Boden, worin sich vielleicht eine geschlossene Wasserader gebildet hatte, kann dagegen eine dichte Sperrung, die man in der Mündung anbringt, den Quell vollständig verschliessen. Um diese Sperrung zu bewirken, ist das einfachste und gewöhnlichste Mittel dieses, dass man einen Pfahl hineinrammt, man hat auch hin und wieder recht trockne Thonmassen hineinzustopfen versucht, die im Wasser quellen und sonach die Ader schliessen, auch ist der Béton zu diesem Zwecke benutzt worden, doch werden die beiden letzten Mittel nur in dem Falle einigen Erfolg erwarten lassen, wenn man vor ihrer Anwendung die Schöpfmaschinen ausser Thätigkeit gesetzt hat, damit die Baugrube ganz mit Wasser angefüllt wird und sonach die Strömung des Quelles für einige

Zeit unterbrochen bleibt; wenn dieses nicht geschehen ist, so möchte der Thon oder der Béton sich gar nicht hineinbringen lassen, oder doch wenigstens nicht die gehörige Füllung der Oeffnung bewirken, indem das durchfliessende Wasser ihn zu stark angreift und die gelösten Theilchen heraustreibt.

Zuweilen hat man solche Quellen durch besondere Fangedämme, oder auch wohl in Fässern oder Röhren eingeschlossen. Dieses Mittel ist gewiss ganz passend, wenn der Zusammenhang der Quellen mit der übrigen Baugrube sich ganz aufheben lässt und das Wasser in der Röhre wirklich zur vollen Druckhöhe ansteigt, wodurch der fernere Zufluss des Quelles unterbrochen wird. In dieser Art wurden beim Bau der Brücke zu Orleans mehrere Quellen eingefasst. Damit aber das Wasser nicht wieder zur Seite hervordringen kann, so muss der Boden die erforderliche Festigkeit haben, denn der Quell, dessen Mündung gesperrt ist, wird in ganz gleicher Art auf die Bildung eines neuen Ausflusses hinwirken, wenn er durch einen Pfahl gestopft war, oder wenn er in dieser Röhre bis zur vollen Druckhöhe gehoben wurde; in beiden Fällen ist der Druck des Wassers gegen den Boden ganz gleich. Es kann indessen auch geschehen, dass der Quell unter so starkem Drucke fliesst, dass er bis über das äussere Wasser sich heben lässt und alsdann wäre es möglich, ihn mittelst einer Rinnenleitung abzuführen und man würde den Vortheil erreichen, dass der Druck, wenn er auf die Höhe des Wasserspiegels in der Röhre reducirt wird, sich vielleicht so sehr vermindert, dass dadurch die Bildung der zweiten Oeffnung weniger wahrscheinlich wird. Derselbe Vortheil könnte zum Theil auch noch erreicht werden, wenn das Wasser nicht frei abfliesst, sondern es durch Schöpfmaschinen in der Röhre gesenkt wird; die Maschinen werden aber in diesem Falle eine geringere Betriebskraft erfordern, weil das Wasser schon durch seinen eigenen Druck in der Röhre eine etwas grössere Höhe erreicht, als diejenige ist, in welcher seine frühere Ausmündung lag.

Das sicherste Mittel zur Stopfung der aus dem Grunde hervorbrechenden Quellen bietet der Béton dar und besonders, wenn er über die ganze Sohle als Grundfangedamm ausgebreitet wird, doch hat man ihn auch benutzt, um die starken Quellen zu stopfen, die zuweilen durch das Einrammen der Rostpfähle

eröffnet werden; eine Hauptbedingung ist es hierbei aber immer, dass man der Bétonlage hinreichende Zeit zum Erhärten lässt, bevor sie dem Wasserdrucke ausgesetzt wird, denn so lange sie noch weich ist, so findet das Wasser leicht Gelegenheit hindurchzudringen und es spühlt alsdann die Kalktheilchen heraus, so dass der Béton an einzelnen Stellen alle Festigkeit verliert und seinen Zweck gänzlich verfehlt.

§. 46.

Schöpfmaschinen.

Die Schöpfmaschinen, deren man sich zur Trockenlegung der Baugruben bedient, werden gewöhnlich durch Menschen in Bewegung gesetzt, und namentlich findet dieses statt, wenn sie nicht lange Zeit hindurch in Thätigkeit erhalten werden dürfen, oder wenn die Wassermenge, die sie fördern sollen, ziemlich unbedeutend bleibt. Die Menschenkraft hat vor allen übrigen Betriebskräften den Vorzug, dass sie sich viel unmittelbarer zur Herbeiführung des beabsichtigten Effectes benutzen lässt und sie erfordert daher nicht so complicirte Maschinen, als sonst nothwendig werden; wenn z. B. eine Pumpe in Bewegung zu setzen ist, so darf man dieselbe nur mit einem Schwengel versehen, um sie durch Menschen treiben zu lassen, und selbst der Schwengel fehlt ganz allgemein bei den Schiffspumpen, die nur mit einer Handhabe unmittelbar an der Kolbenstange versehen sind, womit der Kolben sehr schnell auf- und abgestossen wird. Will man dagegen die Pferdekraft zum Betriebe der Pumpe benutzen, so muss man einen Göpel in der Nähe einrichten und die horizontale und rotirende Bewegung desselben durch irgend eine mechanische Vorrichtung in die verticale auf- und abwärts gerichtete Bewegung der Kolbenstange verändern. Noch complicirter und kostbarer wird die Einrichtung, wenn man die Wasserkraft wählt, und wenn man vollends eine Dampfmaschine benutzt, so ist deren Aufstellung, auch wenn man sie zu diesem Zwecke nicht besonders anzukaufen braucht, schon so kostbar, dass der Betrieb lange Zeit hindurch dauern muss, wenn die Ersparungen, die dabei eintreten, den Betrag der ersten Anlage decken sollen. Bei der Wahl der Schöpfmaschine zum Trockenlegen einer Baugrube wird

man sonach auch die wahrscheinliche Dauer ihres Gebrauches berücksichtigen müssen und sie in der Art wählen, dass die Summe der Kostenbeträge für die Einrichtung und den Betrieb möglichst geringe ausfällt. Indem die Dampfkraft unter den meisten Verhältnissen am wohlfeilsten darzustellen ist, wenn nicht etwa ein disponibles Gefälle die Benutzung der Wasserkraft gestattet, so wird bei langer Dauer des Grundbaues, und wenn grosse Wassermassen gehoben werden müssen, eine Dampfmaschine mit Vortheil zu wählen sein, denn es kommt alsdann weniger auf die Kosten der ersten Anlage, als auf die des Betriebes an. Wenn dagegen in der Grube nur auf kurze Zeit das Wasser etwas gesenkt werden soll, so wird man jedesmal die Menschenkraft dabei benutzen, obgleich sie an sich immer die theuerste ist, und es wird vielleicht vortheilhaft sein, selbst die Kosten für Einrichtung und Aufstellung der Pumpen oder irgend welcher anderer Maschinen zu ersparen und das Wasser unmittelbar mit Eimern ausgiessen zu lassen, obgleich hierbei die eigentlichen Betriebskosten sich noch höher stellen.

Demnächst kommt es bei der Wahl der Schöpfmaschinen für den in Rede stehenden Zweck auch sehr darauf an, dass sie nicht zu viel Raum einnehmen, denn gemeinhin ist die Ausdehnung des Platzes, wo sie aufgestellt werden sollen, sehr beschränkt; die gewöhnliche Pumpe zeichnet sich in dieser Beziehung besonders aus, doch auch andere Maschinen und namentlich alle diejenigen, durch welche das Wasser senkrecht gehoben wird, bieten ähnliche Vortheile. Man darf hierbei aber nicht allein die eigentlichen Schöpfapparate berücksichtigen, denn auch die Nebentheile und namentlich diejenigen mechanischen Vorrichtungen, welche die Betriebskraft unmittelbar aufnehmen, müssen in der Nähe der Baugrube aufgestellt werden; wollte man sie davon weit entfernen, so würde das Gestänge, oder die sonstigen Zwischenglieder, welche zur Uebertragung der Kraft dienen, einen grossen Theil derselben consumiren und sie dadurch merklich schwächen. Aus diesen Gründen muss man häufig auf die Benutzung der Pferdekraft Verzicht leisten, welche sich im Uebrigen hierzu sehr wohl eignet, sie ist nämlich an sich viel wohlfeiler als die Menschenkraft und erfordert dabei, wenigstens im Vergleiche zur Dampfkraft, nur eine einfache und leicht darzustellende Einrichtung.

Ferner ist es erforderlich, dass die Schöpfmaschine, welche man wählt, das Wasser nach Umständen in verschiedene Höhe heben kann; der Nutzen hiervon ist bereits angedeutet. Bei den Pumpen lässt sich dieser Vortheil sehr leicht erreichen, denn man kann den Ausguss beliebig hoch anbringen, ohne eine sonstige Aenderung vorzunehmen, und es kommt nur darauf an, dass der Kolben beständig unter der Seitenöffnung bleibt; wenn man aber beim Steigen des äussern Wassers gezwungen ist, den Ausguss zu erhöhen und die frühere Oeffnung zu schliessen, so hat es gar keinen Nachtheil, wenn dieser Schluss auch einige Unebenheit im Innern der Pumpe bilden sollte.

Von grosser Wichtigkeit ist der Umstand, dass das Wasser, welches man heben muss, gemeinhin nicht ganz rein ist und es oft erdige Theilchen und selbst Sand, auch wohl andere Körper, wie Holzspähne u. dergl. mit sich führt. Hierdurch geht der gute Schluss des Kolbens leicht verloren und selbst die Ventile bleiben geöffnet, sobald fremde Körper hineinkommen. Man vermeidet solche Uebelstände, indem man das Wasser nahe an der Oberfläche eines tiefen Sumpfes schöpfen und es überdies durch Körbe oder durch Kasten, die siebartig mit feinen Löchern versehen sind, hindurchtreten lässt. Die Pumpen sind in dieser Beziehung am meisten einer Beschädigung unterworfen und es zeigen sich daher die andern Schöpfmaschinen, bei denen der Schluss durch Ventile oder durch Kolben nicht vorkommt, beim Heben des trüben Wassers auch viel dauerhafter und eine Reinigung oder eine Reparatur wird bei ihnen viel seltener.

Bei allen Schöpfmaschinen, sowie überhaupt bei allen Maschinen, muss man sorgfältig auf die Darstellung derjenigen Geschwindigkeit hinwirken, welche ihre Leistung vergleichungsweise zu der darauf verwendeten Kraft zu einem Maximum macht. Wollte man z. B. das geneigte Schaufelwerk sehr langsam bewegen, so würde durch den starken Spielraum, der hier nothwendig ist, der grösste Theil des Wassers, nachdem es etwas gehoben worden, wieder zurückfliessen und dadurch den Effect der Maschine sehr vermindern. In noch höherem Grade findet dieses bei dem Wurfrade statt, welches freilich nicht zum Ausschöpfen von Baugruben benutzt wird. Dasselbe leistet, wie die Erfahrung lehrt, gar

nichts, sobald die Windmühle, die es gewöhnlich treibt, von einem schwachen Winde nur sehr langsam bewegt wird. Andere Maschinen dagegen bedürfen einer gewissen Zeit, um das Wasser aufzunehmen, welches nur vermöge der Schwere in sie hineinfliesst, und sie würden wieder einen unverhältnissmässig geringen Effect zeigen, wenn man sie sehr schnell bewegen wollte. Dieses ist der Fall bei den Kastenkünsten, den Schöpfrädern u. dergl. Man muss also jedesmal für die passende Geschwindigkeit im Gange der Schöpfmaschine sorgen, doch lässt sich diese Geschwindigkeit nicht willkührlich dadurch reguliren, dass man etwa die Kurbel sehr schnell oder sehr langsam drehen oder den Kolben einer Dampfmaschine beliebig schnell spielen lässt, denn diese Theile der Maschine, welche die Betriebskraft unmittelbar aufnehmen, müssen gleichfalls mit der für sie angemessenen Geschwindigkeit sich bewegen, wenn der Effect ein Maximum sein soll, und sonach bleibt nur das Mittel übrig, durch die Zwischenglieder in der Maschine, welche die Bewegung übertragen, das bestimmte Verhältniss der Geschwindigkeiten für die Kraft und Last darzustellen; man thut aber wohl daran, wenn man die Kräfte gleich so wählt, dass keine gar zu grosse Veränderung der Geschwindigkeit erforderlich wird.

Den Umstand, dass die Betriebskraft nur bei einer gewissen Geschwindigkeit ein Maximum wird, pflegt man häufig nicht genug zu beachten und dieses vielleicht aus dem Grunde, weil man die Grösse oder das Moment der Betriebskräfte durch das Product des Druckes oder Zuges in die Geschwindigkeit zu messen pflegt. Wenn man z. B., wie dieses gewöhnlich geschieht, es als einen Erfahrungssatz ansieht, dass das Moment einer Pferdekraft gleich 500 ist, d. h. dass der Zug oder das senkrecht gehobene Gewicht multiplicirt in die Höhe, zu der es in der Secunde ansteigt (wobei die erste Grösse in Pfunden und die letzte in Fussen ausgedrückt ist), die Zahl 500 giebt; so wird man leicht verleitet zu glauben, dass dieses Product für die verschiedenen Geschwindigkeiten sich immer gleich bleibt und dass sonach der Zug immer umgekehrt der Geschwindigkeit proportional ist. Dieses ist indessen keineswegs der Fall und es soll vielmehr jene Zahl nur das Maximum des Productes bezeichnen, das bei einer bestimmten Geschwindigkeit eintritt; eigentlich ist

aber auch dieses nicht der Fall, und die Leistung des Pferdes bleibt, wenn man nicht einen sehr ermüdenden und nur kurze Zeit anhaltenden Effect, sondern die dauernde und regelmässige Thätigkeit betrachtet, jedesmal unter der angegebenen Grösse, sowie man denn überhaupt bei der Schätzung der organischen Kräfte dieselben gewöhnlich zu hoch anschlägt, wie dieses auch schon bei Gelegenheit der Rammarbeiten bemerkt wurde. Wie sehr die Kraft des Pferdes oder sein Moment abnimmt, sobald man es mit grösserer Geschwindigkeit ziehen lässt, zeigen viele Beobachtungen, die man hierüber theils in Frankreich und theils in England angestellt hat. Leslie giebt ziemlich übereinstimmend mit andern Erfahrungen die Grösse des Momentes bei verschiedenen Geschwindigkeiten durch die folgenden Verhältnisszahlen an:

Geschwindigkeit				relatives Moment
2 engl. Meilen in der Stunde,	oder	2,8	Fuss in der Secunde	100
3 - - - -	-	4,3	- - -	81
4 - - - -	-	5,7	- - -	64
5 - - - -	-	7,1	- - -	49
6 - - - -	-	8,5	- - -	36

Man sieht hieraus, wie sich die Leistung des Pferdes schon nahe auf den dritten Theil reducirt, sobald man die Geschwindigkeit bis zum starken Trabe vermehrt, oder man das Pferd in drei Viertelstunden eine preussische Meile zurücklegen lässt. Es findet augenscheinlich ganz dasselbe auch mit der Menschenkraft statt, doch sind hierüber keine so entscheidenden Beobachtungen vorhanden und gewöhnlich fehlt man bei deren Benutzung in entgegengesetzter Art, indem man die Grösse des Zuges oder die Belastung zu sehr vermehrt; schon Karsten macht in seiner Preisschrift über die Feuerspritzen vom Jahre 1771 die Bemerkung, dass die Arbeiter viel williger arbeiteten und einen weit grösseren Effect hervorbrachten, sobald man sie nicht zu stark belastete; man kann sich hiervon bei der Anwendung jedes Hebezeuges leicht überzeugen. So ist eine Belastung des einzelnen Arbeiters mit 40 Pfunden an der Kurbel schon so anstrengend, dass er nicht nur sehr langsam arbeitet, sondern er auch vielfache Pausen machen muss; sobald man dagegen den Zug oder Druck, den er an der Handhabe auszuüben hat, auf 25 Pfund ermässigt, so

ersetzt er nicht nur reichlich durch die grössere Geschwindigkeit und längere Dauer der Arbeitszeit den geringeren Zug, sondern er arbeitet auch mit mehr Lust und rühmt die Leichtigkeit im Gange der Maschine.

Bei Anwendung der organischen Kräfte zur Bewegung von Maschinen kommt es demnächst auch sehr darauf an, die Menschen oder Thiere auf solche Art anzustellen, wie es ihrer Natur und ihrem Körperbau am meisten zusagt. Die Aufgabe ist immer diese, aus ihrer ganzen Tagesthätigkeit den grössten Effect zu ziehen; jede übermässige Anstrengung, die bald Ermüdung und Abspannung verursacht, muss also vermieden werden, und man muss besonders diejenigen Theile des Körpers zur Aeusserung der Kraft benutzen, welche die stärksten sind und wo die kräftigsten Muskeln liegen. Der Natur des Pferdes entspricht weit mehr der horizontale Zug, als das Steigen; das Pferd giebt also einen grösseren Effect, wenn es in den Göpel gespannt wird, als wenn es im Laufrade oder auf der Tretscheibe steigen muss; aber auch bei der Bewegung des Göpels muss es an recht lange Zugbäume gespannt werden, weil es sonst zu leicht ermüdet, indem die sehr kurzen Wendungen ohne allen Nutzen gleichfalls seine Kraft consumiren. Der Vortheil des langen Zugbaumes ist also keineswegs übereinstimmend mit dem des langen Hebelsarmes, denn dieser ist nur im Zustande des Gleichgewichts von Nutzen, bei dauernder Bewegung giebt unter übrigens gleichen Umständen der lange Hebelsarm genau denselben Effect, wie der kurze, denn die Producte aus Druck und Geschwindigkeit sind bei beiden ganz gleich. Noch sorgfältiger muss man bei der Anwendung der Menschenkraft sein; die grosse Verschiedenheit im Momente derselben, jenachdem die Arbeiter zur Bewegung einer Kurbel, eines Laufrades oder auf andere Art benutzt werden, ist so augenscheinlich, dass sie schon lange bemerkt worden ist und man hat in der Maschinenlehre für jede dieser Anwendungen die Grösse des Momentes zu bestimmen gesucht. Dabei wird indessen gemeinhin die Ursache dieser Verschiedenheit nicht richtig angegeben, indem man sagt, dass ein Mensch entweder durch seine Kraft, oder sein Gewicht wirkt und im letzten Falle seine Leistung viel grösser ist als im ersten. Dass der Mensch als todte Last oder als blosses Gewicht eine Maschine in Bewegung

setzt, kommt sehr selten vor, und wo es geschieht, da muss der Mensch selbst wieder die Kraft entwickeln, um sein Gewicht zu heben; je schneller er dieses wiederholen kann, ohne sich durch zu grosse Anstrengung zu ermüden, um so grösser wird der Effect sein, den er hervorbringt; also auch hier ist es nur die Muskelkraft, wodurch sich die Leistung bestimmt. Bei unbelastetem Steigen, oder indem man nur sein eigenes Gewicht hebt, ist der Mensch im Stande, den möglichst grössten mechanischen Effect hervorzubringen; man kann leicht, ohne sich besonders anzustrengen, eine 30 Fuss hohe Treppe in einer halben Minute herauflaufen. Man hebt in diesem Falle ungefähr 150 Pfunde mit der Geschwindigkeit von einem Fuss in der Secunde und zwar wird diese Arbeit eine halbe Minute lang fortgesetzt. Weder an der Kurbel, noch an der Pumpe u. dergl. lässt sich auch nur entfernt ein ähnlicher Effect erreichen und doch ist hierbei von einer Wirkung durch das Gewicht gar nicht die Rede. Aber auch auf eine grössere Dauer bleibt der Effect des Steigens immer weit über dem jeder andern Kraftäusserung. Coulomb führt an, dass er gesehen, wie Bergbewohner in 20 Minuten 150 Meter hoch stiegen, dieses giebt für die Secunde 0,4 preuss. Fuss senkrechte Steigung, was mit Rücksicht auf die lange Dauer dieser Thätigkeit nicht minder ausserordentlich ist. Borda bestieg mit seinen Gefährten, die des Bergsteigens gar nicht gewohnt waren, den Pic von Teneriffa, dessen Höhe 2923 Meter oder 9312 preuss. Fuss beträgt in $8\frac{1}{2}$ Stunden, wovon aber noch drei Viertelstunden für die Ruhezeit abgingen, und die Ermüdung war keineswegs so übermässig gross, dass sie die gewöhnliche Tagesthätigkeit in hohem Grade überstiegen hätte. Hierbei wurde während der beinahe achtstündigen Arbeitszeit die Last von 150 Pfunden in der Secunde $\frac{1}{3}$ Fuss hoch gehoben; nach manchen Lehrbüchern lässt sich dieser Effect durch die Kurbel auch erreichen, doch zeigt jede nähere Untersuchung über die wirkliche Leistung eines an der Kurbel angestellten Arbeiters, dass er während eines ganzen Tages auch nicht die Hälfte dieses Effectes wirklich erreicht. Fragt man nun, weshalb der Mensch beim Steigen diese viel grössere Kraft entwickelt, so liegt der Grund davon nur darin, dass hierbei die sehr kräftigen Muskeln des Unterleibes und der Füsse angestrengt werden, während bei der Kurbel und in manchen

andern Fällen vorzugsweise nur die viel schwächeren Muskeln der Arme die Kraft zu entwickeln haben.

Das Steigen der Arbeiter wird auf verschiedene Art zur Herbeiführung eines mechanischen Effectes benutzt, am unmittelbarsten geschieht es beim Lossen der Kohlen auf den englischen Schiffen. Man bildet nämlich dicht neben der Luke des Schiffsraumes aus Haken, Stangen u. dergl. eine breite Leiter von etwa 6 Fuss Höhe, und zwei oder drei junge und rüstige Matrosen klettern auf diese herauf und fassen eine Leine, welche über eine Scheibe herabgeführt ist und an deren anderem Ende der Kohlenkorb hängt; indem sie plötzlich von der Leiter springen, so bilden sie für den Korb das überwiegend schwere Gegengewicht und der Korb steigt mit solcher Heftigkeit herauf, dass er vermöge der erlangten Geschwindigkeit noch um einige Fuss höher fliegt, als er gezogen wird, und so wird er oft bis 10 Fuss gehoben und auf das Deck gebracht, während die Arbeiter nur 6 Fuss tief jedesmal herabsinken. In diesem Falle steigen die Arbeiter senkrecht aufwärts, was nicht zu empfehlen ist, indem dabei das Steigen unbequem wird. Der Effect der erwähnten Arbeit stellt sich auch in der That nicht besonders hoch heraus, was gewiss zum Theil von der zu grossen Anstrengung herrührt. Im Laufrade ist es gleichfalls das unbelastete Steigen, welches den Effect hervorbringt, und zwar hat man es hier ganz in seiner Gewalt, die Arbeiter in jeder beliebigen Neigung gegen den Horizont ansteigen zu lassen; jemehr man nämlich das Rad belastet, um so weiter müssen sie sich von der durch die Axe gelegten senkrechten Ebene entfernen und um so steiler steigen sie an. Zur Ermittelung derjenigen Neigung, worauf der Mensch am bequemsten ansteigt, oder wo er bei gleicher Ermüdung den grössten Effect erreicht, hat man bisher keine entscheidenden Versuche angestellt, und man darf auch nicht hoffen, hierbei zu allgemein gültigen Resultaten zu gelangen, denn dieses hängt zu sehr von der Individualität der Arbeiter ab, ebenso wie eine recht sanft geneigte Treppe mit breiten Stufen und geringer Steigung, welche für alte und schwache Personen sehr bequem ist, für junge Leute ermüdend wird, die auf einer viel steileren Treppe, wo jeder Schritt sie um die doppelte oder eine noch grössere Höhe erhebt, viel leichter eine gleiche Höhe erreichen. Ein Versuch, den ich

gelegentlich hierüber veranlasste, gab das Resultat, dass junge Personen bei gleicher Ermüdung auf einer um 45 Grad gegen den Horizont geneigten Fläche die grösste Höhe erstiegen; ältere Arbeiter gehen dagegen hier nicht mehr sicher und die Sorgfalt, die sie dabei anwenden müssen, consumirt schon einen Theil ihrer Kraft. Wenn man aber sehr unbehülfliche Arbeiter anstellen muss, so ist jedes Steigen und Gehen auf einem beweglichen Boden für sie so unangenehm und beschwerlich, dass leicht der ganze Vortheil des Laufrades verschwindet und sie an der Erdwinde weit mehr leisten. Das Tretrad, wobei die Arbeiter auf dem äussern Umfange des Rades und zwar immer senkrecht steigen, ist in dieser Beziehung gewiss nicht vortheilhaft, es hat auch noch den Uebelstand, dass es sich nicht von selbst regulirt; dagegen ist seine Anlage viel einfacher und wohlfeiler, als die des Laufrades. Das Spillrad, welches in Frankreich häufig vorkommt und wobei die Arbeiter theils die Querarme herabziehen und theils bei grösserem Widerstande auf dieselben heraufklettern, giebt auch keinen sonderlichen Effect; es wird auch meist nur da angewandt, wo die Bewegung nur periodisch eintritt, wie etwa bei einem Krahne, aber nicht da, wo eine Maschine ununterbrochen im Gange erhalten werden soll.

Die Anstrengung der Muskeln in den Schenkeln und im Unterleibe tritt auch noch in vielen andern Fällen ein, wo kein eigentliches Steigen stattfindet, so z. B. beim Drehen der Erdwinde, wo man gleichfalls einen sehr grossen Effect erreicht, auch beim Rudern erklärt sich hierdurch allein die sehr grosse Kraftäusserung, welche besonders durch ihre lange Dauer überrascht; man sieht häufig Seeleute 2 bis 3 Stunden ohne die mindeste Unterbrechung fortrudern; der stärkste Impuls wird dem Ruder aber jedesmal dadurch gegeben, dass der vorwärts geneigte Oberleib zurückgezogen wird, und nur wenn dieses bereits geschehen, so wird die Kraft der Arme benutzt, um den Zug noch weiter auszudehnen.

Beim gewöhnlichen Pumpen, sowie beim Rammen ist gleichfalls die Kraft der Schenkel von grossem Einflusse, indem der Körper zur Hervorbringung eines starken abwärts gerichteten Zuges gesenkt wird und er durch die Füsse immer von Neuem gehoben werden muss. Bei der Kurbel endlich treten nach

dem jedesmaligen Stande derselben sehr verschiedenartige Kraftäusserungen ein, bald hebt man sie, bald wird sie gesenkt, bald horizontal angezogen und bald abgestossen; der ganze Körper ist daher in fortwährender Bewegung, aber der Effect ist in den verschiedenen Perioden so verschieden, dass eine Ausgleichung der Kraft hierbei besonders vortheilhaft wird. Man stellt eine solche dar, indem man ein Schwungrad damit verbindet, oder indem man zwei verschieden gerichtete Kurbeln an derselben Axe anbringt, so dass in derselben Zeit, wo die eine besonders wenig wirkt, bei der andern der Zug gerade am kräftigsten wird. Für den letzten Fall pflegt man oft eine Verstellung um 135 Grade oder um $1\frac{1}{2}$ Quadranten anzuwenden, doch scheint es vortheilhafter zu sein, wenn die Kurbeln um einen Quadranten versetzt sind.

Das Angeführte mag genügen, um darnach die verschiedenen Betriebskräfte und die Art ihrer Anwendung zur Bewegung der Schöpfmaschinen zu beurtheilen; was die Zwischentheile der Maschine betrifft, welche die Kraft übertragen, so gehört dieses allein in die Maschinenlehre und es wäre hier nur darauf aufmerksam zu machen, dass man nicht nur eine starke Reibung, sondern auch alles Biegen und Schlottern vermeiden muss, denn jeder heftige Stoss veranlasst Kraftverlust und schwächt daher die Wirkung der Maschine, und ebenso ist das Schwanken und das Verziehen mit einer gewissen Abnutzung oder doch mit andern Effecten verbunden, die gleichfalls einen Theil der Betriebskraft consumiren. Wenn z. B. in einem Gestänge die Stücke sich biegen oder sich abwechselnd verlängern oder verkürzen, so kann dieses nicht ohne eine grosse Kraftäusserung geschehen, aber diese geht, wenn sie auch sonst nicht nachtheilig wäre, für die Wirksamkeit der Pumpe verloren.

Endlich sind diejenigen Theile der Maschine zu betrachten, welche den beabsichtigten Zweck, oder im vorliegenden Falle das Heben des Wassers bewirken. Diese sollen hier umständlicher behandelt werden und zwar wird zunächst von denjenigen die Rede sein, welche einen heftigen Stoss dem Wasser ertheilen und es dadurch zu der erforderlichen Höhe heraufwerfen, sodann von denen, welche es in Eimern oder Kasten schöpfen und heben, ferner von solchen, wobei das Wasser in gewisse bewegliche

Canäle eingeführt wird, deren Neigung man verändert und dadurch das Wasser zwingt, eine andere Stelle einzunehmen und nach dem höher gelegenen Ausgusse hinzufliessen. Endlich aber können diese Canäle oder Rinnen auch fest sein und ihre Lage unverändert beibehalten, während Kolben sich in ihnen bewegen, die das Wasser mit sich führen; es treten dabei noch die beiden Fälle ein, dass entweder die Kolben sich ununterbrochen in derselben Richtung hinziehen, oder sie nur auf eine gewisse Höhe sich heben und alsdann sich wieder senken, im letzten Falle wird dem Wasser nur in einzelnen Stössen die Bewegung ertheilt.

A. Unter den Maschinen, welche durch einen heftigen Stoss das Wasser in Bewegung setzen und es in die Höhe werfen, sind die einfachsten die Schaufeln; man unterscheidet dabei noch die Wurfschaufeln von den Schwungschaufeln, indem man unter der ersten Benennung solche versteht, die ohne weitere Befestigung nur aus freier Hand geführt werden, und unter der letzten diejenigen, welche an einem leichten Bocke hängen. Die ersten kommen indessen auf den Baustellen wohl nie vor, weil ihre Anwendung nicht nur anstrengend ist, sondern auch grosse Uebung erfordert, denn sobald man die Schaufel etwas zu tief eintaucht, so ist gleich die gefasste Wassermenge so gross, dass ihr nicht der gehörige Schwung gegeben werden kann und sie folglich, ohne die Rinne zu erreichen, in die Baugrube zurückfällt. Auf flachen Flussfahrzeugen, sowie auch bei kleinen Seeböten kommen diese Schaufeln häufig vor, und besonders sind sie auf den letzteren ganz üblich, indem man daselbst keinen Raum hat, den Bock oder eine andere Vorrichtung anzubringen; man giebt ihnen aber alsdann keinen langen Stiel, sondern nur eine kurze Handhabe *), und während der Matrose, der sie gebraucht, auf der Bank sitzt, so wählt er eine solche Stellung, dass er den ganzen Arm hin- und herschwingen kann und dadurch dieselbe Sicherheit in der Bewegung erreicht wird, als wenn die Schaufel angehängt wäre. Alle Schaufeln haben den grossen Vorzug, dass, wenn sie durch

*) Sie heissen alsdann Oese-Fässer; die Schwungschaufeln nennt man in den norddeutschen Marschen Oese-Mühlen, und ösen bezeichnet das Auswerfen des Wassers.

geübte Arbeiter geführt werden, sie das Wasser sehr vollständig entfernen; wenn der Wasserstand auch nur noch ¼ Zoll beträgt, so lässt sich mit der gehörig zugeschärften und sicher gestossenen Schaufel das Ausschöpfen noch immer fortsetzen; hierin ist eben der Grund zu suchen, weshalb sie sich bei flachen Fahrzeugen so sehr empfehlen.

Die Schwungschaufeln finden häufige Anwendung bei Wasserbauten, doch seltener beim Trockenlegen der Baustellen, als vielmehr beim künstlichen Ausschöpfen kleiner eingedeichter Niederungen. Fig. 239 zeigt ihre gewöhnliche Form, sie sind aus fünf Brettstücken zusammengesetzt, ihre Länge beträgt 18 Zoll bis 2 Fuss und ihre Höhe und Breite 9 bis 12 Zoll. Sie sind mit einem langen Stiele versehen und hängen überdies an einem aus Stangen leicht zusammengesetzten dreibeinigen Bocke; letzterer ist etwa 8 Fuss hoch. Ein Arbeiter stösst die Stange mit Heftigkeit in derjenigen Neigung vor, dass der Boden der Schaufel, der vorn wieder zugeschärft sein muss, etwa einen Zoll tief eintaucht und sonach der Kasten sich füllt; bei der Fortsetzung der pendelartigen Bewegung hebt sich der Kasten und giebt dadurch dem Wasser diejenige Richtung, dass es nach der etwa 6 Fuss entfernten und recht breiten Rinne fliegt, welche es über den Damm nach dem äussern höhern Wasser abführt. Dass die Leistung dieser einfachen Maschine nicht ganz unbedeutend sein kann, muss man daraus abnehmen, dass sie so häufig angewendet wird; die Höhe, zu der das Wasser dabei gehoben wird, beträgt selten mehr als 3 Fuss, und nicht leicht wird ein Arbeiter während eines Schwunges, der etwa 4 Secunden dauert, einen halben Cubikfuss Wasser schöpfen. Das Schöpfen mit Eimern möchte daher wohl im Allgemeinen vorzuziehen sein und dieses namentlich deshalb, weil die Arbeiter darauf gar nicht eingeübt sein dürfen, aber bei kalter Witterung, wo die Leute nicht im Wasser stehen können, wird das Schöpfen mit Eimern sehr beschwerlich, und alsdann dürften für geringe Hubhöhen, und wenn keine andern Schöpfmaschinen vorhanden sind, die Wurfschaufeln sich besonders empfehlen. Zuweilen stellt man an einer Schaufel auch zwei und noch häufiger drei Arbeiter an, indem der eine wieder den Stiel führt und die andern beiden mittelst Leinen der Schaufel den starken Schwung ertheilen.

Zuweilen hat man der Schaufel auch eine **feste Aufstellung** gegeben, wodurch ihr Gebrauch viel sicherer wird; eine Einrichtung dieser Art, welche bei den Schleusenbauten an der Ems angewendet und sehr gerühmt wurde, zeigt Fig. 240. Die eigentliche Schaufel, welche in Fig. 241 *a* und *b* in der Ansicht von vorn und im Durchschnitte dargestellt ist, besteht aus einem eisernen Rahmen von etwa 2 Fuss Höhe und 1½ Fuss Breite, der mit drei hölzernen Klappen geschlossen wird, die sich um horizontale Axen drehen und sich gegenseitig überdecken. Sobald der Rahmen in derjenigen Richtung bewegt wird, wohin das Wasser fortgestossen werden soll, so schliessen sich die Klappen und sperren sonach die Rinne, worin die Schaufel schwingt, sobald aber die entgegengesetzte Richtung eintritt, so öffnen sich alle Klappen recht weit und durchschneiden auf diese Art ziemlich leicht das Wasser, welches die Rinne sogleich wieder anfüllt. Die Hubhöhe kann bis 4 Fuss betragen, doch gemeinhin ist sie geringer, und wenn das Wasser recht hoch in der Baugrube oder der Rinne steht, so werden bei jedem Stosse bis 7 Cubikfuss herausgeworfen; in der Minute erfolgen 10 bis 12 Stösse und die Maschine wird durch 4 bis 6 Arbeiter bewegt, die an den Zugleinen bei *A* in ähnlicher Art wie an den Zugleinen einer Ramme ziehen, während ein Arbeiter noch die Leine *B* führt, um die Schaufel schneller zurückzutreiben. Endlich ist noch darauf aufmerksam zu machen, dass der Rahmen sich frei in der Rinne bewegt und ein Spielraum von etwa 1 Zoll ringsum stattfinden muss.

Zu den Maschinen dieser Art gehört endlich auch noch das **Wurfrad**, welches jedoch fast nie zur Trockenlegung der Baugruben benutzt wird, wogegen es bei der Entwässerung der eingedeichten Niederungen vielfache Anwendung findet; es soll daher erst später bei Gelegenheit der Eindeichungen beschrieben werden. Régemortes hatte es indessen auch zum ersten Zwecke gebraucht und zwar aus dem eigenthümlichen Grunde, weil er auf dem bereits versenkten Dielenboden, der den Grundfangedamm bildete, keine vertiefte Grube oder keinen Sumpf darstellen konnte; alle sonstigen Schöpfmaschinen liessen daher einen so hohen Wasserstand zurück, dass die Maurerarbeit nicht bequem und sicher auszuführen war, während das Wurfrad, welches in dieser Beziehung der Wurfschaufel nahe steht, so vollständig alles Wasser

entfernte, dass das Versetzen der Steine fast im Trocknen vorgenommen werden konnte.

B. **Schöpfen und Heben des Wassers in Eimern oder Kasten:**

Der unmittelbare Gebrauch der **Handeimer** zum Ausschöpfen der Baugrube kommt häufig vor und derselbe empfiehlt sich vorzugsweise dadurch, dass fast gar keine besondere Einrichtung dabei erforderlich wird und die Arbeiter ohne alle Uebung diese Verrichtung sogleich ausführen können. Wenn jedoch hierbei der Effect nicht zu ungünstig ausfallen soll, so müssen manche Vorsichtsmaassregeln beachtet werden, die in den obigen Bemerkungen über die zweckmässige Benutzung der Menschenkraft ihre Begründung finden. Hierher gehört, dass die Arbeiter nicht **über**, sondern **in** dem Wasser stehen müssen, welches sie ausschöpfen sollen; im entgegengesetzten Falle würden sie sich jedesmal tief bücken und ihren eignen Körper von Neuem heben müssen. Steht dagegen der Arbeiter bis an das Knie im Wasser, so kann er schon in aufrechter Stellung den Eimer füllen und er hebt ihn bequem 3, auch wohl 4 Fuss hoch. Eine noch grössere Hubhöhe wird sehr ermüdend, und wenn man eine solche nöthig hat, so muss man zwei Reihen von Arbeitern über einander anstellen, die alsdann zusammen das Wasser bis 8 Fuss heben können. In diesem Falle ist es aber nicht passend, dass die untenstehenden Arbeiter die Eimer in ein Becken ausgiessen und die obenstehenden hier von Neuem schöpfen, vielmehr müssen die Eimer gefüllt auf die Rüstung gestellt und von hier weiter gehoben werden; dieses ist deshalb nöthig, weil dadurch die Arbeit des einmaligen Schöpfens erspart und die bereits gewonnene Hubhöhe vollständig benutzt wird, denn bei jedem Ausgiessen geht ein Theil der letzteren verloren. Endlich ist auch dahin zu sehen, dass die Eimer möglichst leicht sind, weil ihr Aufheben sonst selbst schon eine grosse Kraft erfordern würde, und zugleich müssen sie auch bei einem starken Aufsetzen und Gegenstossen nicht leicht zerbrechen. Die Anzahl der Eimer muss jedesmal der der Arbeiter gleich sein und dieses auch in dem Falle, wenn letztere in zwei Reihen über einander stehen, weil sie sonst auf einander warten müssten. Sehr gut eignen sich hierzu die ledernen Feuereimer und man hat bei ihrer Anwendung den Vortheil, dass man sie

fast überall in der gehörigen Anzahl leicht erhalten kann. In Venedig benutzt man hierzu auch breite, aus Weiden geflochtene Körbe, die freilich viel Wasser durchlassen, die aber bei ihrer geringen Tiefe besonders bequem gefüllt und ausgegossen werden können; jeder Korb wird von zwei Arbeitern geführt. Nach der gewöhnlichen Annahme ist die Leistung eines Arbeiters diese, dass er in der Minute 15mal den Eimer hebt und derselbe durchschnittlich $\frac{1}{3}$ Cubikfuss Wasser fasst. Man muss indessen hierbei, sowie bei allen diesen Angaben, auf vielfache Pausen rechnen und man darf daher nicht annehmen, dass ein Arbeiter wirklich 8 Stunden am Tage diese Leistung fortzusetzen im Stande ist.

Wird die Hubhöhe bedeutender, so ist es vortheilhafter, das Wasser in grösseren Quantitäten zu erheben, und man thut alsdann wohl, den Eimer an einen Hebel aufzuhängen und letzteren so auszugleichen, dass der Eimer bei der halben Füllung durch das Gegengewicht gerade getragen wird. Alsdann wird zum Herabdrücken des leeren Eimers ungefähr dieselbe Kraft erfordert, wie zum Heben des gefüllten Eimers. Man hat auch andere ähnliche Vorrichtungen oftmals angewendet, um einzelne grössere Eimer abwechselnd zu heben und herabzulassen und dabei auch zugleich für ein bequemes Füllen und Leeren derselben gesorgt, sie kommen jedoch beim Trockenlegen der Baugruben nicht leicht vor.

Sehr wichtig ist die Anordnung, wobei an einer Kette ohne Ende eine ganze Reihe von Eimern befestigt ist, welche bei der Bewegung der Kette abwechselnd unter das Wasser treten, sich daselbst füllen, sodann ansteigen und über eine obere Trommel gehen, woselbst sie sich bei der veränderten Stellung entleeren, oder auch schon früher durch eine andere Vorrichtung umgekippt werden und ihren Inhalt fallen lassen. Dieses sind die sogenannten Kastenwerke oder Norien, welche man schon seit langer Zeit besonders in Italien angewendet hat und die bei einer passenden Einrichtung für grössere Hubhöhen sehr günstige Resultate zu geben pflegen. Die Reibung beschränkt sich bei ihnen allein auf diejenige, welche an den wenigen Axen und an der Kette stattfindet; sie heben auch das Wasser in dicht verschlossenen Kasten und auf dem kürzesten Wege auf die erforderliche Höhe, woher ein grosser Kraftverlust hier gar nicht zu erwarten ist.

Es treten dabei jedoch manche erhebliche Uebelstände ein, die sich besonders darauf beziehen, dass beim Entleeren der Kasten das Wasser nicht vollständig aufgefangen wird und häufig ein grosser Theil desselben wieder zurückstürzt; ferner dass das Wasser gewöhnlich auf eine bedeutend grössere Höhe gehoben werden muss, als es aufgefangen wird, und endlich noch der, dass das Füllen der Kasten wegen der darin enthaltenen Luft auch Schwierigkeiten verursacht, besonders wenn die Kasten senkrecht herabgeführt werden. Um diese Mängel zu beseitigen, hat man verschiedene Modificationen eingeführt, die hier kurz bezeichnet werden sollen, im Allgemeinen ist aber zu bemerken, dass diese Maschinen eine langsame Bewegung erfordern, weil sie sonst weder leicht das Wasser schöpfen, noch auch an der passenden Stelle es ausgiessen würden.

Fig. 242 stellt eine Norie vor, welche durch eine Art von Kammrad in Bewegung gesetzt wird, oder wo die Stöcke, welche die Kette fassen, an der einen Seite aus der Radfläche hervortreten. Wenn man das ausgegossene Wasser hier vollständig auffangen will, so ist es nöthig, dass der Trog, der es aufnimmt, nicht viel über der Axe des Rades liegt, woher die Welle an dieser Seite des Rades gar nicht vorstehen darf, sondern sie vielmehr auf der andern Seite ihre beiden Lager haben muss. Ferner fängt man das Wasser zuweilen, wie Fig. 243 im Durchschnitte zeigt, über der Axe auf. Die beiden Ketten, zwischen welchen die Eimer befestigt sind, werden nämlich über zwei gusseiserne Scheiben geführt, deren jede sechs Arme hat, womit eben die Ketten gefasst und geführt werden. Die Zwischenräume zwischen je zwei Armen sind mit Blech ausgefüttert, so dass sich hier abgeschlossene Tröge bilden, die jedoch eine starke Neigung nach der einen Seite erhalten, oder hier sich der Drehungsaxe merklich nähern müssen. Eine Modification dieser Anordnung bezieht sich noch darauf, dass man das Wasser aus den Trögen auch in die hohle Welle des Rades hineinfliessen lässt, indem sich am Boden jedes Troges ein oder mehrere Ventile befinden, die nach innen aufschlagen; das Wasser kann alsdann aus dem obern Troge durch das geöffnete Ventil in die Axe hineinfliessen, während alle Ventile an der untern Seite der Welle geschlossen sind und dadurch jedes Ausfliessen hier verhindert wird. Dem-

nächst lässt man die Kasten auch zuweilen seitwärts das Wasser ausgiessen, wie dieses bei Gelegenheit der Schöpfräder (Fig. 247 und 248) erklärt werden wird. Der gewöhnlichste Fall ist indessen der, wo die Kasten, nachdem sie auf die obere Trommel getreten sind, das Wasser in der Richtung nach vorn ausstürzen. Besonders zweckmässig ist in diesem Falle die in Fig. 244 dargestellte Einrichtung, welche von Gateau herrührt und die man in Frankreich verschiedentlich mit vielem Vortheile benutzt hat. *) Die Kasten, welche etwa 1 Fuss hoch, 6 Zoll breit und 9 Zoll lang sind, haben zwei Oeffnungen, nämlich wenn man die Stellung betrachtet, in welcher sie aufsteigen und mit Wasser gefüllt sind, so haben sie oben und zwar zur Seite neben dem schrägen Boden einen offenen Schlitz, der gar nicht geschlossen werden kann und durch welchen sie sich füllen und entleeren; unten dagegen ist eine kleinere Oeffnung befindlich, welche mit einem Klappenventile geschlossen ist. Sobald der Kasten über die obern Trommeln getreten ist, so öffnet sich das Ventil von selbst vermöge seines Gewichtes und bleibt so lange offen, bis der Kasten wieder die erste Stellung einnimmt. Diese Anordnung erleichtert ausserordentlich die Füllung des Kastens, denn wie das Wasser durch die erste Oeffnung eintritt, so entweicht die Luft durch das Bodenventil. Um nun aber das Wasser, das über dem geneigten Boden des Kastens ausströmt und dadurch schon seitwärts geführt wird, vollständig auffangen zu können, so befindet sich unmittelbar neben und zwar etwas unter der ersten Trommel noch eine zweite, welche die Kette nebst den Kasten bis unter die Axe der ersten Trommel zurückführt. Auf solche Art wird es möglich, die Rinne hinreichend weit unter die Kette zu schieben, ohne dass sie der Bewegung der Kasten hinderlich wird. Unten ist endlich noch eine dritte gleiche Trommel angebracht, deren Axe aber nicht mit dem festen Rahmen verbunden ist, sondern die nur frei auf der Kette liegt, um die auf- und abwärtsgehenden Kasten gehörig von einander entfernt zu halten. Beim Bau des Canales St. Maur an der Marne oberhalb Paris wurde diese Maschine von Emmery benutzt und über ihre Leistung, sowie über die dazu erforderliche

*) Vergl. Navier's Ausgabe von Bélidor's *Architecture hydraulique* p. 581 und *Recueil de dessins etc.*

Betriebskraft eine Reihe von Beobachtungen angestellt; es ergab sich, dass ihr Nutzeffect sich ungefähr so gross herausstellte, wie das Verhältniss der ganzen Höhe, zu der das Wasser wirklich gehoben werden musste, sich zu der nutzbaren Hubhöhe verhält, und da die Differenz beider eine constante Grösse ist, welche durch die Art der Aufstellung bedingt wird, so erreicht man einen um so grösseren Effect, je höher man mittelst dieser Maschine das Wasser hebt. Die Einrichtung der hierbei benutzten Kette ergiebt sich aus der Figur, es greifen nämlich durch jeden Kasten zwei eiserne Axen hindurch und diese sind mit den Axen der nächsten Kasten durch Kettenglieder verbunden; zuweilen wenn die Kasten an sich nicht die nöthige Festigkeit haben, um diese beiden Axen gehörig zu halten, so greifen auch noch zwei andere Kettenglieder über die beiden Axen zur Seite der Kasten über. Die vortretenden Enden der Axen legen sich nun ausserhalb der Kettenglieder in die Einschnitte, die sich in den gusseisernen Scheiben der Trommeln befinden, und es sind jedesmal zwei solche Scheiben an derselben Axe befindlich, wozwischen die Ketten nebst den Kasten geführt werden. Für die regelmässige Führung der Kette genügt es, solche Scheiben nur in der obersten Trommel anzuwenden, und man kann die zweite Trommel, welche die erste berührt, aus vollen und zwar hölzernen Scheiben darstellen, die gar keine Einschnitte zu haben brauchen, und dasselbe gilt auch von der untern Trommel. Dieses ist die gewöhnliche Einrichtung, die aber in der Figur nicht gewählt ist, weil die vollen Scheiben zu viel verdeckt haben würden. Bei Beurtheilung der Wirksamkeit dieser Maschine macht Navier die Bemerkung, dass die Zurückführung des herabgehenden Kettenstranges gegen die Axe der obersten Trommel insofern sehr unzweckmässig sei, als dadurch das Gewicht dieses Theiles an einen so kurzen Hebelsarm gehängt wird, dass es der aufsteigenden Kette nicht das Gleichgewicht halten könne und man sonach bei der Drehung nicht nur das Wasser, sondern auch die halbe Kette heben müsse; diese Ansicht ist augenscheinlich falsch, indem die Geschwindigkeit der aufsteigenden Kette eben so gross ist, als die der herabgehenden. Wenn Navier's Besorgniss gegründet wäre, so würde diese Norie in freier Luft aufgestellt fortdauernd zurücklaufen und ein Perpetuum Mobile bilden.

Endlich hat man noch die Einrichtung getroffen, dass jeder Eimer oder Kasten nicht an zwei Axen der Kette ohne Ende, sondern nur an einer einzigen hängt, um welche er sich dreht, und sobald er bis zu einer gewissen Höhe gestiegen ist, so wird er durch einen festen Haken oder Pflock gefasst, der bei der fortgesetzten Hebung ihm eine so schräge Stellung giebt, dass er seinen Inhalt ausgiesst. Eine Anordnung dieser Art zeigt Fig. 245. Es tritt dabei noch der Vortheil ein, dass der Eimer, sobald er leer wird, eine ganz geneigte Stellung einnimmt und dadurch seine Anfüllung mit Wasser sich sehr erleichtert.

Bei allen diesen hier beschriebenen Norien ist die Einrichtung gewählt worden, dass die Eimer oder Kasten zwischen zwei Ketten hängen, welche mit ihren vortretenden Axen sich auf die gabelförmigen Arme der Scheiben an den Trommeln auflegen; dieses ist keineswegs die einzig mögliche Anordnung, vielmehr können alle verschiedenen Arten des Eingriffes von Ketten in Räderwerk auch hierbei ihre Anwendung finden. Gemeinhin würde auch eine einzige Kette genügen, und nur in dem letzterwähnten Falle, wo nämlich der Eimer um eine Axe sich frei dreht, ist es nöthig, dass er zwischen zwei Ketten hängt. Die verschiedenen hierbei vorkommenden oder anwendbaren Abänderungen sollen gelegentlich erwähnt werden, und schon bei der Beschreibung des geneigten Schaufelwerks und der Kettenpumpe wird von solchen die Rede sein, während andere bei Gelegenheit der Baggermaschinen beschrieben werden sollen.

Demnächst sind die Schöpfkasten oder Eimer zuweilen nicht an der Kette ohne Ende, sondern an einem Rade befindlich, und zwar sind sie am Umfange desselben entweder ganz fest angebracht, oder sie können sich noch um gewisse Axen drehen, wobei ihre Füllung und hauptsächlich ihre Entleerung sehr erleichtert wird. Diese Räder nennt man Schöpfräder, doch wird eine besondere Art derselben erst in der nächsten Klasse der Schöpfmaschinen erwähnt werden. Wenn an dem Radkranze bewegliche Eimer angebracht sind, so können diese wieder auf sehr verschiedene Art, sobald sie sich entleeren sollen, geneigt werden; Fig. 246 ist eine ziemlich einfache zu diesem Zwecke dienende Vorrichtung dargestellt, die keiner weitern Erklärung bedarf. Jeder Eimer hat einen eisernen Bügel, womit er gegen

den Rand des Troges streift und sich dadurch überneigt. Man hat indessen hierbei nicht nur Drehungsaxen für die Eimer angewendet, die mit der Drehungsaxe des Rades parallel stehen, sondern mitunter sie auch schräge gestellt, so dass der Eimer in gewisser Höhe seitwärts umschlägt und sich in den an der Seite des Rades angebrachten Trog entleert. Es kann auch hier, ebensowohl wie bei den Norien, die Einrichtung angebracht werden, die man bei den Baggermaschinen zur Ausführung gebracht hat, dass nämlich, ehe ein Eimer sich dreht und entleert, durch die Maschine selbst die Rinne vorgeschoben wird, welche seinen Inhalt aufnimmt, die aber sogleich darauf sich wieder zurückzieht, um dem folgenden Eimer nicht hinderlich zu werden.

Wenn dagegen das Schöpfrad mit festen Kasten oder Eimern versehen ist, so nennt man es das Chinesische Schöpfrad, und in seiner einfachsten Form trägt es an seinem Umfange eine Reihe von kurzen Büchsen oder kleinen Tonnen (in China sind es Bambusröhren), die an einer Seite geöffnet, an der andern geschlossen sind; sie werden so befestigt, dass sie sowohl gegen die Ebene des Rades schräge stehen, als dass auch ihre beiden Enden in verschiedene Entfernung von der Axe treffen, und zwar liegt das offene Ende der Axe näher als das geschlossene. Man wendet diese Räder auch in Europa vielfach zu verschiedenen ökonomischen Zwecken an; so wird an der Wupper bei Elberfeld und Barmen das Wasser für die Bleichen hierdurch gehoben, an den Ufern der Etsch sieht man sie häufig behufs der Bewässerungen angewendet, das grosse und in früherer Zeit berühmte Wasserrad in Bremen, welches das Wasser aus der Weser nach mehreren Theilen der Stadt leitet, stimmt hiermit gleichfalls genau genug überein, und in allen diesen Fällen erfolgt die Bewegung des Rades durch die Strömung desselben Wassers, von welchem ein Theil gehoben wird, indem an dem Radkranze zwischen den Röhren zugleich die Radschaufeln angebracht sind, welche durch die Strömung bewegt werden. Fig. 247 zeigt in *a* und *b* ein solches Rad, wie es bei Elberfeld üblich ist. Die Röhren bestehen daselbst aus kleinen Fässern und man bemerkt, wie dieselben sich unten füllen, alsdann in aufrechter Lage ansteigen und oben das enthaltene Wasser zur Seite ausgiessen, welches in eine Rinne fällt, die es weiter fortführt. Es wird hierbei so ziemlich

die ganze Wassermenge, die gehoben wurde, wirklich aufgefangen, doch geht ein grosser Theil der Hubhöhe verloren, indem die Rinne einige Fuss tief unter dem obern Rande des Rades liegen muss, wenn sie alles Wasser auffangen soll. Es mag hierbei noch erwähnt werden, dass man diese Räder in Tyrol nicht auf ein festes Gerüste, sondern auf einen Rahmen zu hängen pflegt, der einen Hebel bildet und um eine horizontale Axe sich drehen kann. Indem er am andern Ende mit einem passenden Gegengewichte beschwert ist, so giebt er Gelegenheit, das Rad nach Maassgabe des verschiedenen Wasserstandes beliebig zu heben und zu senken.

Das in Fig. 248 *a* und *b* in der Seitenansicht und im Durchschnitte dargestellte Rad ist mit dem beschriebenen wesentlich übereinstimmend, der Unterschied liegt nur in der Form der Eimer, welche hier grosse Kasten sind und daher jedesmal eine grössere Wassermenge fassen. Die Oeffnung derselben ist aber ganz entsprechend mit der beschriebenen Stellung der Röhren angeordnet, sie befindet sich nämlich an demjenigen Theile des Kastens, der beim Ansteigen desselben nach oben gekehrt ist, und überdies tritt die Ausgussrinne vor der Seitenfläche des Rades vor. Perronet wandte zur Trockenlegung der Baugrube bei der Brücke zu Neuilly ein solches Rad von 14 Fuss Durchmesser und $3\frac{1}{4}$ Fuss Breite an; das Wasser wurde damit 9 Fuss hoch gehoben und die Bewegung ging von einem Wasserrade aus, das in der Seine hing und mittelst zweier Räder und Getriebe dieses drehte; die Geschwindigkeit des Wasserrades war der des Schöpfrades gleich. Auch in neuerer Zeit hat man dieses Rad zu demselben Zwecke benutzt; dieses geschah beim Bau des Hafens am neuen Salzmagazine in Berlin, woselbst es durch Menschenkraft mittelst Kurbeln und eines Vorgeleges bewegt wurde *); auch das beim Schleusenbau zu Rothenburg an der Saale angewandte Rad gehört zum Theil noch hierher, obwohl es schon den Uebergang zu dem später zu beschreibenden Schneckenrade bildet. **)

C. Unter denjenigen **Schöpfmaschinen**, welche in **gewissen beweglichen Canälen das Wasser heben**,

*) Crelle's Journal für die Baukunst. Bd. IX. S. 1.

**) Verhandlungen des preuss. Gewerbevereins. Jahrg. 1836. S. 282.

durch deren veränderte Neigung dieses gezwungen wird, nach der erhöhten Ausflussmündung hinzufliessen, verdient zunächst der Wipptrog erwähnt zu werden, der entweder einfach oder doppelt ist. Fig. 249 stellt einen doppelten Wipptrog vor, wie er beim Bau der Brücke zu Orleans angewandt wurde. *a* ist die Ansicht von der Seite und *b* von oben. Eine Rinne von 32 Fuss Länge, 1 Fuss Breite und 1 Fuss Höhe, deren beide Enden aufwärts gebogen sind, schwingt um eine horizontale Axe in der Mitte. Dieser Trog wird abwechselnd auf einer und der andern Seite ins Wasser herabgedrückt und es öffnen sich alsdann die beiden im Boden befindlichen Ventile, wodurch der Trog sich jedesmal mit Wasser anfüllt. Wird er alsdann in die entgegengesetzte Stellung gebracht, wobei das Wasser auf der andern Seite einfliesst, so wird die erste Wassermasse nach der Mitte der Rinne geschleudert, und hier hemmt eine feste Zwischenwand ihre fernere Bewegung und zwingt sie, durch den betreffenden Seitenabfluss zu entweichen. Auf solche Art füllt sich eine Seite nach der andern und der Inhalt fliesst bald vor, bald hinter der Axe aus. Ueber den Effect dieses Troges führt Perronet an, dass an jeder Seite zehn Mann angestellt waren, die mittelst Leinen wie an einer Ramme zogen; sie machten in der Viertelstunde 150 Stösse und hoben durchschnittlich jedesmal 4 Cubikfuss Wasser 3 Fuss hoch. Eine so langsame Bewegung war nothwendig, indem man nach jedem Stosse das vollständige Abfliessen des Wassers abwarten musste, die Anstrengung war daher so mässig, dass die Arbeit ohne Abwechselung der Mannschaft den ganzen Tag hindurch fortgesetzt werden konnte. Die Uebelstände, die Perronet von dieser Maschine erwähnt, beziehen sich zunächst darauf, dass sie zu viel Raum einnahm, und sodann auch, dass sie durch das Aufstossen auf das Wasser einen heftigen Wellenschlag erzeugte, wodurch das frische Mauerwerk beschädigt wurde. Dazu kommt auch wohl noch der Umstand, dass beim Umschlagen des Troges dem Wasser eine starke lebendige Kraft mitgetheilt wird, welche sich nur im Stosse gegen die Mittelwand zu erkennen geben kann, ohne etwas zur Vermehrung der Hubhöhe beizutragen. Bei dem erwähnten Brückenbau wurde die Benutzung dieser Maschine auch bald eingestellt und man wählte dafür das Schöpfen mit Handeimern.

Der einfache Wipptrog ist seiner Form nach übereinstimmend mit der Hälfte des beschriebenen Troges, auch er ist am äussern Ende des Bodens mit einem oder zwei Ventilen versehen, die das Wasser einlassen, und dasselbe fliesst in diesem Falle unmittelbar am andern Ende des Troges über dessen Axe aus, oder da, wo beim doppelten Wipptroge die Zwischenwand befindlich ist. Das eine Ende des Troges liegt also auf der Abflussrinne auf und zwei Mann heben mittelst Handhaben das andere Ende jedesmal auf. Es ist nicht denkbar, dass hierbei irgend ein Vortheil gegen das Schöpfen mit Eimern stattfinden sollte, und die Arbeit wird gewiss sehr anstrengend sein, indem der schwere Trog so lange in der Höhe gehalten werden muss, bis alles Wasser ausgeflossen ist. Beim doppelten Troge bilden die beiden Hälften sich einigermaassen das Gegengewicht, und sobald eine gewisse Stellung der Maschine gegeben ist, so hält sie sich von selbst in dieser Lage, bis sie gewaltsam wieder zurückgezogen wird.

Das früher erwähnte, beim Bau der Rothenburger Schleuse angewendete Schöpfrad bildet eigentlich einen Kranz von ähnlichen Trögen, die aber nicht durch Ventilöffnungen, sondern durch offene Einflussmündungen das Wasser schöpfen. Die sämmtlichen geraden Tröge oder Rinnen haben indessen den Nachtheil, dass bei ihrem Durchgange durch die horizontale Ebene das Wasser eine starke Beschleunigung annimmt, und besonders wird dieses der Fall sein, wenn die Rinne sich noch viel stärker neigt und sich zuletzt ziemlich steil stellt; es wird hierdurch dem Wasser eine grosse lebendige Kraft mitgetheilt, die für die fernere Bewegung der Maschine von keinem Nutzen ist und sich nur durch den heftigen Stoss zu erkennen giebt. Dergleichen Verluste an lebendiger Kraft finden nicht statt, wenn die Rinne gekrümmt ist. In diesem Falle bleibt bei langsamer Bewegung die mitgetheilte lebendige Kraft sehr geringe und solche Maschinen zeichnen sich daher durch ihre Wirksamkeit sehr vortheilhaft aus.

Unter diesen erwähne ich zuerst das Schneckenrad, welches unter dem Namen Tympanum schon frühe bekannt war. Fig. 250 stellt es im Durchschnitte und in der Ansicht von vorn vor. Es ist in eine grosse Anzahl gewundener Canäle getheilt und die Einflussöffnungen zu denselben befinden sich in der Stirne des Rades. Das Wasser fliesst bei der eintretenden Drehung

(in allen Schöpfrädern und Getrieben, die Taf. XX dargestellt sind, erfolgt die Drehung im obern Theile von der Linken zur Rechten) in den Canälen nach der Axe hin und ergiesst sich endlich in die weite Röhre, welche die Welle umgiebt, wie die Seitenansicht Fig. 250 *b* zeigt. Die Höhe, zu der das Wasser steigt, ist hier jedesmal merklich geringer als der Halbmesser des Rades, es erfolgt indessen kein überflüssig hohes Heben des Wassers und die Bewegung ist sanft, wenn kein Kraftverlust durch plötzliche Verminderung der Geschwindigkeit entsteht, und endlich ist das Schöpfrad selbst mit keiner andern Reibung behaftet, als nur an der Axe, woselbst sie sich auf eine ziemlich geringe Grösse reduciren lässt. Beim Bau der Brücke zu Orleans wurde dieses Rad benutzt; es war 25 Fuss hoch, im Lichten $1\frac{1}{2}$ Fuss breit und wurde sehr einfach dadurch in Bewegung gesetzt, dass an jeder Seite des Schöpfrades ein Laufrad angebracht war, worin Arbeiter gingen; am vortheilhaftesten stellte sich die Wirkung des Rades heraus, wenn es 6 bis 9 Zoll hoch Wasser schöpfte, und seine Leistung übertraf alsdann die von allen sonstigen Maschinen, welche durch eine gleiche Anzahl Arbeiter bewegt wurden; es muss indessen bemerkt werden, dass dieser günstige Erfolg zum Theil auch der Anwendung des Laufrades und ebenso der gänzlichen Abwesenheit aller Zwischenglieder zur Uebertragung der Bewegung zugeschrieben werden muss. Doch bemerkt Perronet, dass man mit diesem Rade, das so vielen Raum einnahm und so schwer zu versetzen war (es wog 7000 bis 8000 Pfunde), doch keine grössere Hubhöhe, als etwa von 8 Fuss erreichen konnte, und dass sonach seine Benutzung für viele Fälle ganz unthunlich und immer sehr unbequem ist.

Zur Bestimmung der passenden Form für die Scheidewände der Canäle im Schneckenrade hat de la Faye *) die Bedingung zum Grunde gelegt, dass das Wasser bei der Bewegung gegen die Axe senkrecht ansteigen soll, ohne seitwärts aus der lothrechten Richtung auszuweichen; dieses führt zu dem Resultate, dass die Curve der Scheidewand die Evolute des Kreises sein muss, und zwar ist der Erzeugungskreis hierbei nichts anderes, als der Querschnitt der Ausflussröhre, welche die Welle des Rades

*) Belidor, *Architecture hydraulique. I. p.* 385.

umgiebt. Der Grund für diese Bedingung ist der, dass das Wasser in diesem Falle auf dem kürzesten Wege gehoben wird und sonach diejenigen Widerstände vermieden werden, welche der Verlängerung des Weges entsprechen. Der Umstand aber, dass hierdurch das Wasser immer möglichst nahe an dem durch die Axe gezogenen Lothe gehalten wird und sonach sein statisches Moment geringer ist, als wenn es weiter seitwärts entfernt würde, ist, wie schon oben bemerkt worden, von keiner Bedeutung und sonach ist der Vortheil einer solchen Anordnung auch nicht erheblich, und es wird bei geringer Weite der Ausflussröhre zweckmässig sein, von dieser Construction abzuweichen und dadurch die Länge jedes Canales und sonach des Weges, den das Wasser wirklich zurücklegen muss, merklich zu verkürzen.

Demnächst gehört in diese Klasse der Schöpfmaschinen die **Wasserschnecke** oder die **Archimedische Schnecke**; sie gewährt beinahe alle Vortheile des Schneckenrades und hat den grossen Vorzug, dass sie sehr leicht aufzustellen ist und in einem beschränkten Raume Platz findet, auch dass ihre Wirksamkeit durch ein tiefes Eintauchen nicht beeinträchtigt wird und man sie also in die gefüllte Baugrube stellen und, ohne ihre Lage zu verändern, sie so lange gebrauchen kann, wie sie überhaupt noch Wasser schöpft. In Frankreich ist die Schnecke die gewöhnlichste Schöpfmaschine und die erwähnten Vortheile machen sie gewiss auf der Baustelle auch höchst empfehlenswerth, wozu noch kommt, dass sie bei der Abwesenheit aller Ventile und jedes künstlichen Verschlusses auch durch trübes Wasser und Sand eben so wenig leidet, wie das Schöpfrad. Fig. 251 zeigt die in Frankreich übliche Anordnung und Aufstellung der Schnecke. Sie hat im Durchmesser 18 Zoll bis 24 Zoll, in seltenen Fällen auch wohl darüber; ihre Länge beträgt gemeinhin 21 Fuss und sie wird gewöhnlich so gestellt, dass sie 8 Fuss hoch das Wasser hebt. Nun ist es aber Bedingung, dass die einzelnen Gänge ziemlich schmal sein müssen, weil sie sonst nicht gehörig mit Wasser sich füllen; wollte man diese geringe Breite der Gänge dadurch darstellen, dass ein einziges Gewinde mit sehr flacher Neigung eingeschnitten wird, so würde die Länge desselben sich ausserordentlich vergrössern und das Wasser müsste beim Durchgange durch diese lange Röhre vielfachen Widerstand erfahren,

so dass der letzte sehr gross wird und zu seiner Ueberwindung ein bedeutender Theil der Betriebskraft consumirt werden muss. Aus diesem Grunde bringt man nicht einen einfachen Schraubengang, sondern deren zwei, auch wohl drei an, das letztere findet namentlich bei den stärkeren Schnecken statt und diese Anordnung ist in der Figur auch dargestellt; man erreicht dabei noch den Vortheil, dass das Wasser viel gleichmässiger ausströmt, als wenn nur ein einzelner Gang angebracht wäre. Die Figur zeigt an beiden Seiten die äussere Ansicht der Schnecke oder ihren Mantel; an einer Stelle ist der Mantel entfernt gedacht, so dass man die aus Schaufelbrettchen gebildeten Gänge deutlich sieht, und endlich fehlen zum Theil auch diese, so dass die mittlere Welle allein hervortritt. Die Anzahl der Brettchen beträgt für jede Windung 20 bis 24, man pflegt sie häufig nur an der obern Seite abzuschmiegen und an der untern, wo sie weniger mit dem Wasser in Berührung sind, sie stufenartig vor einander vortreten zu lassen. Sie greifen mit einem Zapfen in den fortlaufenden Einschnitt der Welle ein, unter sich sind sie mit hölzernen Nägeln verbunden, die gleich beim Zusammensetzen eingelassen werden, und ihr äusseres Ende greift wieder in eine Nuthe in die schmalen Bretter des Mantels ein. Die Anfertigung der Schnecke erleichtert sich insofern, als alle Brettstückchen einander gleich sind und man daher nur für e i n e recht genaue Chablone zu sorgen hat; wie man diese construirt, darf nicht näher auseinandergesetzt werden, da es eine sehr einfache Aufgabe aus der beschreibenden Geometrie ist. Es ist indessen viele Aufmerksamkeit hierbei nothwendig, denn ein dichter Schluss ist wegen der langsamen Bewegung ein dringendes Erforderniss. Zur Herbeiführung dieses guten Schlusses dienen besonders die Zugbänder, die etwa in 4 Fuss Abstand um den Mantel gelegt sind. In Havre sah ich eine Schnecke anfertigen, welche von der beschriebenen Construction insofern abwich, als die Gänge nicht in eine Nuthe des Mantels eingriffen, sondern nur stumpf dagegen stiessen; nachdem die Brettchen über getheerte Leinwand in die Fuge der Welle eingesetzt und scharf zusammengetrieben, auch in ihre Stossfugen gedichtet waren, legte man die Schnecke in den Rahmen, worin sie später aufgestellt werden sollte, und indem man sie drehte, so arbeitete man nach einem vorgehaltenen Lineale den äussern Rand der Gänge sehr

genau cylindrisch ab. Alsdann wurden Latten von 3 Zoll Breite, welche den Mantel bilden sollten und die im Innern nach der passenden Form etwas hohl gehobelt waren, mit sehr weiten Fugen aufgelegt und durch Zugbänder fest zusammengetrieben; indem sie sich eben nur berührten, so wirkten die Zugbänder sehr sicher dahin, sie recht fest gegen die Schraubengänge zu drücken und jeden freien Zwischenraum hier zu entfernen, es blieben sonach nur noch die Zwischenräume in dem Mantel selbst zu dichten, und dieses geschah durch das beim Schiffsbau übliche Breven, indem aufgelockertes Tauwerk mit passenden Eisen recht fest hineingetrieben und sodann heisses Pech darauf gegossen wurde. Diese Methode ist jedoch in Frankreich nicht allgemein üblich, vielmehr ist die zuerst erwähnte Verzapfung wohl am häufigsten im Gebrauche und man pflegt auch wohl die Bretter, welche den Mantel bilden, durch Spundung in einander greifen zu lassen.*) Aus den Versuchen, die d'Aubuisson und Hachette anführen, ergiebt es sich, dass eine Schnecke am vortheilhaftesten wirkt, wenn sie unter 30 Graden gegen den Horizont geneigt ist, doch nimmt man es in Frankreich hiermit nicht so genau und stellt sie auch wohl unter 45 Graden auf. Ebenso hat man auch durch Versuche zu ermitteln gesucht, unter welcher mittleren Neigung die Windungen am vortheilhaftesten ansteigen, doch sind die Resultate hierüber nicht so entscheidend ausgefallen, dass sich eine allgemeine Regel darüber aufstellen liesse, man muss indessen jedenfalls dafür sorgen, dass das Wasser bei der gewählten Aufstellung der Schnecke nicht zurückfliessen kann. Nach den von Mallet angestellten Beobachtungen konnte mittelst einer Schnecke von dreifachen Gängen, die 19 Fuss lang war, 19 Zoll im Durchmesser hatte, durch 9 Arbeiter, die in der Minute 35 Umdrehungen machten, eine Wassermenge von 1358 Cubikfuss in der Stunde auf $10\frac{1}{2}$ Fuss Höhe gehoben werden. Gewöhnlich rechnet man in Frankreich, dass ein Arbeiter an der Schnecke, der während des Tages 6 Stunden hindurch wirklich arbeitet, in der Stunde 15 Cubikmeter (485 Cubikfuss) 1 Meter (3 Fuss 2 Zoll) hoch hebt. Die Arbeit an der schräge gerichteten Kurbel ist aber sehr unangenehm und man muss daher für eine vortheilhaftere An-

*) *Recueil de dessins, rélatifs à l'art de l'ingénieur.*

stellung der Leute sorgen, die überdies an der Kurbel selbst gewöhnlich nicht sämmtlich Platz finden. Am einfachsten lässt sich dieses durch Zugstangen erreichen, die horizontal hin- und hergeschoben werden, doch müssen dieselben entweder an zwei, in passender Neigung gegen einander gerichteten Kurbeln, angebracht sein, damit die eine Stange besonders stark wirkt, sobald die andere ihre Wirksamkeit verliert, oder es muss sich an der Axe der Kurbel ein kräftiges Schwungrad befinden.

Häufig tritt der Anwendung der Wasserschnecke das Vorurtheil entgegen, dass man glaubt, sie verliere ihre ganze Wirksamkeit und könne gar kein Wasser heben, sobald ihre untere Mündung nicht zum Theil über der Oberfläche des Wassers liegt, so dass jeder einzelne Gang sich abwechselnd mit Wasser und mit Luft füllen kann. Wenn dieses richtig wäre, so würde man gezwungen sein, die Schnecke nach dem jedesmaligen Stande des Wassers in der Baugrube immer zu verstellen, was sehr beschwerlich ist. Bei den Bauten an der Ems im Hannöverschen hatte man, um dieser Bedingung zu genügen, ohne die Verstellung vornehmen zu dürfen, den Mantel der Schnecke an verschiedenen Stellen durchbohrt, damit die Luft Zutritt erhalten sollte, doch war ein sehr starker Wasserverlust eine unausbleibliche Folge dieser Anordnung. Dass die Vorsicht in Betreff der Zuleitung der Luft ganz überflüssig ist, ergiebt sich deutlich daraus, dass man in Frankreich und ebenso in Holland und im südlichen Deutschlande, wo gleichfalls die Schnecke oft benutzt wird, hierauf gar keine Rücksicht nimmt und man sie beim jedesmaligen Beginne der Arbeit tief unter Wasser stellt, und gerade in dieser Zeit zeigt sie sich wegen der geringen Hubhöhe besonders wirksam. Der Grund der erwähnten Voraussetzung liegt wahrscheinliah in den Erscheinungen, die kleine Modelle zeigen, wobei der Schneckengang nur durch eine gläserne Röhre dargestellt ist. Wenn eine solche Röhre so enge ist, dass Luft und Wasser sich nicht zugleich in demselben Querschnitte befinden können, so ist freilich das Schöpfen der Luft nothwendig; sobald sich nämlich keine Luft in dem obern Theile der Windungen befindet und diese vielmehr ganz mit Wasser gefüllt sind, so wird bei jeder Erhöhung des Wasserspiegels in der Röhre über dem äussern der Inhalt augenblicklich zurückfliessen und sich ein gleiches Niveau dar-

stellen, indem alle vorkommenden Erhebungen, oder die obern Theile jeder Windung als gefüllte Heber wirken. Ganz anders verhalten sich aber grössere und ordentlich bearbeitete Modelle und noch mehr die grossen Wasserschnecken, die man wirklich anwendet. Denkt man eine solche Schnecke bis oben mit Wasser gefüllt, so wird freilich zunächst dieselbe Erscheinung, wie im gläsernen Modelle eintreten, das heisst, das Wasser wird im heftigen Strome zurückfliessen, indem die einzelnen Gänge ganz wie Heber wirken; sobald sich aber in dem obersten Gange der Wasserspiegel bis unter die Welle gesenkt hat, so tritt sogleich die Luft auch von oben ein und setzt den nächsten Heber, oder den obern Schenkel der folgenden Windung ausser Thätigkeit, indem sie ihn anfüllt. Dasselbe geschieht bei allen folgenden Windungen und sonach wird die Wirksamkeit aller Heber gestört, und die Luft kann ganz frei von oben herab bis zu derjenigen Windung des Schneckenganges treten, die zunächst über dem äussern Wasserspiegel sich befindet, es stellt sich also jedesmal ganz von selbst eben der Erfolg dar, den man durch jene besondere Aufstellung der Wasserschnecke herbeiführen will. Ein Unterschied kann hierbei nur insofern eintreten, als die einzelnen Gänge vielleicht sich nicht so vollständig füllen, wie dieses geschehen wäre, wenn sie schon durch die untere Mündung Luft geschöpft hätten. Es füllt sich nämlich im letzten Falle die untere Windung so weit an, bis das Wasser darin über der Welle abläuft, und wenn die Schnecke ganz gleichmässig bearbeitet ist und kein Verlust auf dem ferneren Wege eintritt, so werden die sämmtlichen Gänge eben so hoch sich anfüllen. Sobald aber die Luft von oben eintreten muss, so bestimmt sich der Wasserstand in jeder einzelnen Windung dadurch, dass die Luft unter der Welle hindurchtreten kann. Bei der geneigten Lage der Welle dürfte gewöhnlich dieser Unterschied nicht bedeutend sein, doch findet er im Allgemeinen gewiss statt. Der Nachtheil, der hieraus hervorgeht, äussert sich darin, dass bei jeder einzelnen Umdrehung der Schnecke eine etwas geringere Wassermenge ausfliesst, da aber die sämmtlichen Gänge bis zum Wasserspiegel der Baugrube sich in demselben Verhältnisse minder hoch anfüllen und sonach kein Zurückfliessen des bereits gehobenen Wassers erfolgt, so vermindert sich auch die zur Drehung der

Schnecke erforderliche Kraft genau in demselben Maasse und der Nutzeffect ist daher derselbe, und eine gleiche Betriebskraft kann im letzten Falle eine grössere Geschwindigkeit darstellen und dadurch wieder die gleiche Wassermenge in gleicher Zeit heben. Wenn hierbei, wie es allerdings möglich ist, noch geringe Differenzen wegen der minder günstigen Geschwindigkeit oder vielleicht aus andern Gründen eintreten können, so werden sie immer sehr geringfügig ausfallen und gewiss weit weniger störend sein, als wenn man bei jeder Aenderung des Wasserstandes in der Baugrube immer sogleich die Schnecke verstellen wollte.

D. Endlich können die Schöpfmaschinen auch eine solche Einrichtung haben, dass das Wasser in gewissen festen Rinnen oder Röhren aufsteigt, indem darin Kolben angebracht sind, welche es aufwärts treiben; der Kolben bewegt sich alsdann entweder immer in derselben Richtung durch die ganze Röhre, oder er wird abwechselnd auf- und abgestossen. In beiden Fällen ist es der Druck der Luft, welcher das Wasser zwingt, dem Kolben zu folgen, und der Ueberschuss des Luftdruckes von der äussern Seite lässt sich nur darstellen, indem das Zutreten der Luft durch das Rohr bis unter den Kolben verhindert wird. Bewegt sich der Kolben abwechselnd auf- und abwärts, wie in der Pumpe, so muss er selbst einen hinreichend dichten Schluss im Rohre bilden, wenn dagegen eine Kette ohne Ende hindurchgezogen ist, an der sich eine ganze Reihe von Kolben befindet, von der immer mehrere gleichzeitig in der Röhre sind und sie auch mit grosser Geschwindigkeit in derselben Richtung ununterbrochen bewegt werden, so ist ein genauer Schluss der Kolben gegen die Röhrenwand gar nicht mehr nothwendig, weil das über den verschiedenen Kolben befindliche Wasser, wenn es auch Anfangs durch die weit geöffneten Fugen stark zurückfliessen sollte, schon die Absperrung gegen den Zutritt der Luft von oben bildet. Indem nun aber alle Luft, die zuerst sich in der Röhre befand, mit dem Wasser herausgerissen wird und ein Wiedereintritt derselben unmöglich ist, so füllt sich trotz eines weiten Spielraumes rings um die Kolben dennoch sehr schnell die Röhre ganz mit Wasser an; letzteres stützt sich aber auf die verschiedenen Kolben, die gerade in Wirksamkeit sind, und da es wegen ihrer schnellen Bewegung nicht

vorbeifliessen kann, sondern es vielmehr an ihrer Bewegung Theil nehmen muss, so zeigt sich die sehr günstige Erscheinung, dass auch bei einem sehr mangelhaften Schlusse der Kolben, der ausfliessende Strahl dennoch weder unterbrochen, noch auch von einem merklich geringeren Querschnitte als die Röhre ist. Es wäre freilich denkbar, dass zwischen den Kolben und der Röhrenwand noch eine ruhende Wasserschicht bliebe und dadurch eine Verringerung des Querschnittes der aufsteigenden Wassersäule einträte; die Versuche, die ich später anführen werde, geben dieses aber nicht zu erkennen und sonach ist kein Grund vorhanden, bei den Maschinen dieser Art einen recht genauen Schluss der Kolben darzustellen, wodurch man einerseits die Anschaffungskosten sehr vermehren würde und andererseits auch die Betriebskraft wegen der stärkeren Reibung vergrössern müsste. Hauptbedingung ist es hierbei aber immer, dass man der Kette eine starke Geschwindigkeit von wenigstens 3 bis 4 Fuss in der Secunde ertheilen muss; kann man eine solche nicht darstellen, so wird es nöthig, für den möglichst dichten Schluss zu sorgen.

Zu diesen Maschinen gehört zunächst das g e n e i g t e S c h a u f e l w e r k; eine Rinne, die im Lichten 1 bis 2 Fuss breit und 6 Zoll bis 1 Fuss hoch ist, wird aus Bohlen zusammengesetzt und in den Fugen gehörig gedichtet, so dass sie die wasserdichte Röhre oder den F ö r d e r k a s t e n bildet. Man legt sie so, dass ihr oberes Ende in die Ausgussrinne reicht und das untere Ende sich ganz unter Wasser befindet. Die Neigung, welche man ihr giebt und sonach die Länge, die sie bei einer gewissen Förderungshöhe erhalten muss, ist nach der gewöhnlichen Ansicht nicht gleichgültig, worüber später Einiges angeführt werden soll. Eine Kette ohne Ende, woran sich die Kolben oder Schaufeln befinden, ist durch sie hindurchgezogen und wird über ihr in einer zweiten Rinne, dem L a u f k a s t e n, wieder zurückgeführt. Um diese Kette nun in Bewegung zu setzen und um sie zugleich recht regelmässig in die Rinne einzuführen und hindurchzuziehen, so sind an beiden Enden Trommeln angebracht, um welche die Kettengelenke sich gehörig schliessend auflegen, sie müssen aber auch von der obern Trommel so sicher gefasst werden, dass die Bewegung von dieser sich vollständig auf die Kette überträgt und durchaus kein Abgleiten oder Nachgeben

stattfinden kann. Die Bewegung kann nun durch Menschenkraft oder auch wohl durch Wasserkraft erfolgen, doch ist die Anwendung eines Pferdegöpels hierbei besonders üblich und namentlich kommt dieses in Holland gewöhnlich vor, wo man das geneigte Schaufelwerk fast jedesmal zum Ausschöpfen der Baugruben benutzt. Fig. 252 auf Taf. XXI zeigt diese Anordnung; über dem Fangedamme, den man hier von der Seite sieht, wird auf einer leichten Rüstung ein Göpel aufgestellt; er enthält seine Befestigung vorzugsweise durch einen starken und gehörig verstrebten Bock. An dem Tummelbaume befindet sich unter der Rüstung, worauf die Pferde gehen, ein Kammrad von 10 bis 16 Fuss Durchmesser und es greift darin ein Trilling ein, der an seinem andern Ende die Trommel für die Kette trägt. Diese Trommel hat wieder die Gestalt eines Trillings, wobei die Stöcke jedoch aus Eisen bestehen. Gewöhnlich hat die Trommel acht Stöcke, und ihr Durchmesser oder der Abstand der Stöcke von der Axe muss so gewählt sein, dass beim Umlegen der Kette um dieselben sich wieder ein regelmässiges Achteck darstellt. Wenn die Trommel nur vier Stöcke hat, so bildet sich zwischen den beiden Kettengliedern, die mit ihren Enden auf denselben Triebstock treffen, jedesmal ein rechter Winkel, und sonach zieht der Triebstock, indem er immer senkrecht gegen das vorhergehende Kettenglied drückt, sehr sicher die Kette herauf. Wird die Anzahl der Triebstöcke etwa fünf oder sechs, so findet dieses nicht mehr mit derselben Sicherheit statt, man muss wenigstens immer für die gehörige Spannung der Kette sorgen, indem sie sonst leicht schon zu gleiten anfängt. Vergrössert sich die Anzahl der Triebstöcke aber noch mehr und steigt sie auf acht, so lässt sich die Kette durch das blosse Anlegen der Stöcke nicht mehr sicher fassen, und sobald ein Gleiten eintreten sollte, so würde nicht nur die Wirkung der Maschine aufhören, sondern die Glieder würden sich auch verbiegen, man muss also in diesem Falle noch für einen besondern Eingriff sorgen und es geschieht dieses am einfachsten, indem jedes Kettenglied dicht hinter seiner Axe mit einem Ansatze versehen wird, wogegen sich der Triebstock lehnt. Fig. 253 *a* zeigt bei *A* diesen Ansatz und die Bewegung der Kette erfolgt nach dieser Figur von der Rechten zur Linken. Dass man die Anzahl der Triebstöcke über vier vermehrt, dazu giebt es ver-

schiedene Gründe: fürs Erste ist bei vier Stöcken der Unterschied im Zuge sehr bedeutend, je nachdem die Kette auf eine Ecke trifft, oder sie eine Seite des Vierecks berührt, im letzten Falle verhält sich der Zug zu dem ersteren wie 10 zu 7, und da dieses fortwährend wechselt, so stellen sich auch periodische Schwankungen in den Geschwindigkeiten, entweder der Kette oder der Betriebskraft, dar. Durch Vergrösserung der Seitenanzahl der Trommel wird dieser Uebelstand, wenn auch nicht ganz beseitigt, doch beinahe unmerklich gemacht. Sodann lassen sich auch die Kettenglieder auf der Trommel, wenn sie nur vier Stöcke hat, nicht mehr gehörig auflegen, indem die daran befestigten Schaufeln schon gegen die Welle stossen, und man muss alsdann einzelne Kettenglieder etwa doppelt so lang machen, als die Schaufeln hoch sind, was aber wieder den Nachtheil hat, dass man dadurch die Anzahl der auf einmal im Förderkasten befindlichen Schaufeln vermindert und man sonach eine grössere Geschwindigkeit der Kette geben muss, um die ganze im Kasten enthaltene Wassermenge zu heben und ein merkliches Zurückfliessen zu verhindern. Endlich aber ist es für die Zusammensetzung der Tröge und zur Darstellung der nöthigen Steifigkeit auch vortheilhaft, wenn der Förderkasten vom Laufkasten etwas entfernt wird, wozu eben wieder die Vergrösserung der Trommel oder die Vermehrung der Triebstöcke dient. Am untern Ende der Kasten befindet sich eine gleiche Trommel wie oben, und man hat auch dafür zu sorgen, dass die Schaufeln recht sicher in den Kasten eingeführt werden und sie nicht etwa an den Enden der Seitenwände oder des Bodens anstossen; man erreicht dieses am leichtesten, indem man den Boden sowohl vom obern, als vom untern Kasten möglichst weit unter diejenige Trommel hinführt, von der er die Kette aufnimmt. Die beiden Kasten sind unter sich durch übergelegte Rahmen oder Zwingen verbunden, die in Abständen von 4 bis 6 Fuss angebracht sind, an diese Zwingen sind auch die Wangenstücke befestigt, in welchen die Axen der beiden Trommeln sich drehen, und gemeinhin ist noch die Vorrichtung angebracht, die Pfanne für die untere Axe weiter herabzuschieben, um dadurch die Ketten zu spannen.

Die Anordnung der Ketten geht aus Fig. 253 *a* und *b* hervor; es sind hier zwei Ketten neben einander befindlich, deren Glieder

durch gemeinschaftliche Axen verbunden sind. Jedes Glied ist an der einen Seite gabelförmig gespalten, worin das Ende des nächstfolgenden steckt. Die Glieder greifen in passenden Oeffnungen durch die hölzernen Schaufeln hindurch, und indem sich die letzteren gegen Ansätze in den Gliedern lehnen, so werden sie an der vordern Seite durch vorgesteckte Splinte befestigt. Gewöhnlich lässt man die Schaufeln flach auf dem Boden der Kasten laufen, doch bringt man zuweilen, wie die Fig. 253 zeigt, auch zwei Eisenschienen an den Seiten des Bodens an und versieht die Schaufeln mit flachen mit Eisen beschlagenen Einschnitten, wodurch eine unmittelbare Berührung des Bodens, sowie der Seitenwände des Kastens vermieden wird. Der freie Spielraum beträgt ringsum etwa $\frac{1}{2}$ Zoll, doch ist derselbe oben häufig noch viel bedeutender. Einfache Ketten kommen zuweilen und namentlich in Frankreich auch vor, doch müssen dieselben natürlich, um sich immer regelmässig auf die Trommeln aufzulegen, sehr breit sein und sie werden alsdann aus Holz dargestellt.

Nach der beschriebenen und in Fig. 252 dargestellten Anordnung des Schaufelwerkes, die auch in Holland die gewöhnliche ist, ergiebt es sich, dass die Kette sich ungefähr nur mit der halben Geschwindigkeit bewegt, welche die Pferde annehmen; liesse man die Pferde im Schritt gehen, so würde nach dem, was oben bemerkt worden, die Kette sich nicht schnell genug bewegen, um das Zurückfliessen des Wassers zu verhindern, und sonach ist es üblich, dass die Pferde im starken Trabe bleiben; mitunter werden hierbei die Pferde so angestrengt, dass man kaum 2 Minuten hindurch die Maschine im Gange erhalten kann und alsdann sogleich Pausen von 5 Minuten und darüber eintreten müssen, wie ich dieses z. B. bei einem Bau am nordholländischen Canale sah. Wie ungünstig dieses auch sein mag, so stellt sich hierbei dennoch ein grösserer Effect heraus, als wenn man die langsame Bewegung eintreten lässt; die Rinne goss in einem ununterbrochenen Strahle das Wasser aus und dasselbe spritzte sogar mit Heftigkeit hervor. Die Dimensionen dieser Maschine waren dieselben, welche die Figuren 252 und 253 darstellen, und es ist nur zu bemerken, dass vier Pferde am Göpel gingen und dieser durch ein leichtes Gebäude aus Brettern umschlossen war.

Ueber die Neigung, welche man dem Schaufelwerke geben muss, um den möglichst grössten Effect zu erreichen, sind die Ansichten ziemlich verschieden; in Holland, wo diese Maschine am meisten üblich ist, stellt man sie gewöhnlich unter einem Winkel von etwa 30 Graden gegen den Horizont auf; Eytelwein hat unter der Voraussetzung, dass die Zellen zwischen je zwei Schaufeln nicht ganz, sondern nur bis zum obern Rande der untern Schaufel mit Wasser angefüllt sind, das Resultat erhalten, dass die Neigung $37\frac{2}{3}$ Grade betragen müsse; Wiebeking will dagegen durch Beobachtungen gefunden haben, dass der Effect um so günstiger ausfällt, je kleiner man den Neigungswinkel annimmt, und da er bis auf 18 Grade in seinen Versuchen herabging, so empfiehlt er auch eben diese Neigung. Indem die ganze Einrichtung des Schaufelwerkes sich auch in der Kettenpumpe wiederholt und diese bei einer ganz senkrechten Stellung einen sehr vortheilhaften Effect zeigt, so ist es kaum anzunehmen, dass für das Schaufelwerk ein gewisses Maximum der Neigung stattfinden sollte, oder dieses müsste denn durch besondere Umstände in der Construction bedingt werden. Jedenfalls wird es darauf ankommen, dass das Schaufelwerk nicht gar zu lang ausgezogen wird, was bei einer sehr geringen Neigung der Fall ist, und zwar wird dieses deshalb nachtheilig sein, weil bei einer gleichen Förderungshöhe die Kette sehr lang und folglich auch sehr schwer ausfallen müsste; anderntheils aber gewährt die geneigte Stellung den grossen Vortheil, dass man die Höhe des Ausgusses mit Leichtigkeit nach dem jedesmaligen Wasserstande verändern kann, was bei dem senkrecht gestellten Schaufelwerk oder der Kettenpumpe nicht mehr möglich ist. Bei beiden Maschinen wird es aber vortheilhaft sein, sie unten nicht zu tief in das Wasser eintauchen zu lassen, weil sonst die Schaufeln daselbst einen zu starken Widerstand erfahren. Man hält bei uns, sowie auch in Frankreich das geneigte Schaufelwerk für keine besonders wirksame Schöpfmaschine, da es jedoch in Holland ganz gewöhnlich benutzt wird, so muss man wohl annehmen, dass es auch seine Vorzüge hat, und es lässt sich in der That auch nicht absehen, weshalb es den andern Schöpfmaschinen weit nachstehen sollte. Nur in dem Falle dürfte es sehr unwirksam werden, wenn ein grosser Theil des gehobenen Wassers immer wieder durch den

Spielraum neben den Schaufeln zurückfliesst, was bei sehr langsamer Bewegung eintritt.

Die Kettenpumpe oder das Paternosterwerk ist dem geneigten Schaufelwerke sehr ähnlich, und es unterscheidet sich eigentlich nur dadurch von demselben, dass es senkrecht steht. Seine gewöhnliche Anordnung ist diese: ein hölzernes Pumpenrohr, das etwa 4 Zoll weit ausgebohrt ist, bildet die Röhre, worin das Wasser gehoben wird; durch dieses Rohr ist eine gewöhnliche Kette hindurchgezogen, die an der äussern Seite desselben wieder herabgeht; an der Kette befinden sich die einzelnen Kolben oder Scheiben, die vor sich das Wasser herauftreiben. Die Kette erhält ihre Bewegung durch eine Gabelwalze oder eine hölzerne Walze, in welcher sechs gabelförmige Arme angebracht sind. Obgleich die Maschine dieser Art sich immer recht günstig gezeigt hat, so findet sie dennoch nur selten eine Anwendung und dieses geschieht wahrscheinlich aus dem Grunde, weil die gewöhnliche Kette nicht sicher von den Gabeln gefasst wird; bald greifen die Gabeln gar nicht ein, so dass die Kette darüber gleitet und für eine kurze Zeit stehen bleibt, bald dagegen kommt eine Scheibe gerade auf die Gabel zu liegen, dieses verursacht eine solche Spannung der Kette, dass man die Walze zurückdrehen und die Kette etwas verschieben muss, und der gewöhnlichste und zugleich auch der unangenehmste Fall ist der, dass die Kette sich fest klemmt und nicht mehr von selbst aus der Gabel abfällt; alsdann muss wieder die Maschine angehalten und die Kette gewaltsam herausgerissen werden. So geschieht es, dass eine solche Pumpe nicht leicht einige Minuten hindurch im Gange zu erhalten ist und dieses ist besonders deshalb nachtheilig, indem hier ebenso wie beim Schaufelwerke eine grosse Geschwindigkeit des Betriebes erfordert wird.

Der regelmässige Eingriff der Kette in die Trommel lässt sich indessen hier ebenso leicht darstellen, wie bei dem geneigten Schaufelwerke und der Norie; man hat dieses auch mehrfach bereits versucht und namentlich ist es auf der englischen Marine geschehen, woselbst die Kettenpumpe die gewöhnliche Wasserhebungsmaschine geworden ist, sobald es darauf ankommt, grosse Wassermassen herauszuschaffen. Die Kette hat hier dieselben

Ansätze, welche Fig. 253 *a* für das Schaufelwerk zeigt, man kann indessen auch* die Einrichtung mit der Gabelwalze zu diesem Zwecke beibehalten und ich will eine Anordnung dieser Art ausführlicher beschreiben, die ich bei zwei solchen Pumpen zur Ausführung gebracht habe, welche einen regelmässigen Betrieb zuliessen und dabei sehr günstige Resultate gaben. Diese Pumpen waren zum Heben gesunkener Seeschiffe bestimmt und sie sollten im Allgemeinen nach dem Muster derjenigen gebaut werden, welche mehrfach zu gleichem Zwecke in Neufahrwasser benutzt waren und sich daselbst sehr vortheilhaft gezeigt hatten. Die letzteren glichen genau dem Paternosterwerke, welches schon Perronet benutzte und das Eytelwein in seiner praktischen Anweisung zur Wasserbaukunst beschrieben hat; ein Unterschied fand nur insofern statt, als das Rohr auf 7½ Zoll Weite gebohrt war. Beim Gebrauche dieser Pumpe zeigten sich indessen die erwähnten vielfachen Unterbrechungen und eben deshalb fand ich mich veranlasst, der Kette eine andere Einrichtung zu geben, so dass sie sich regelmässig auf die Gabeln auflegen und davon lösen konnte. Fig. 254 *a* und *b* ist die Ansicht der ganzen Pumpe von der Seite und von vorn, und Fig. 255 *a*, *b* und *c* zeigt die gewählte Construction der Kette und der Gabeln. Die Kette selbst ergiebt sich hieraus hinreichend deutlich und es ist dabei nur zu erwähnen, dass die Schraubenbolzen, welche zwischen je zwei Gliedern die Verbindung darstellen, sich nicht drehen dürfen, denn sobald dieses geschieht, so lösen sich leicht die Muttern und es stürzt wohl die ganze Kette herab; man vermeidet dieses ganz sicher dadurch, dass man in dem gabelförmigen Ende jedes Gliedes das Bolzenloch an der Seite, zunächst dem Kopfe des Bolzens nicht rund, sondern viereckig macht und dem Bolzen selbst hier einen quadratischen Querschnitt giebt. Demnächst muss von den Gabeln erwähnt werden, dass die Abrundung am Ende nicht fehlen darf, weil sonst das breite Ende des vorhergehenden Gliedes, womit die Kette sich eben auf die Gabel stützt, sich nicht lösen kann. Die Krümmung der vordern Seite der Gabel *D* muss so gewählt sein, dass sie einen Kreisbogen bildet, der aus der Axe des nächstfolgenden Kettenbolzens *B* beschrieben ist (Fig. 255 *a*). Dass alle einzelnen Kettenglieder und Gabeln nach gehörigen Chablonen angefertigt werden müssen, versteht sich von selbst,

aber eine besondere Schwierigkeit verursacht dabei noch die Befestigung der Gabeln. Der Versuch, dieselben in recht sorgfältig vorgebohrten Löchern einzuschlagen, wie dieses wohl sonst geschehen darf, missrieth gänzlich und ich wählte daher das in derselben Figur dargestellte Verfahren; ich liess nämlich die eichene Walze, die 1 Fuss stark und eben so breit war und welche schon vorher starke eiserne Ringe auf beiden Seiten erhielt, in ihrer Mitte in drei Richtungen durchbohren und diese Bohrlöcher viereckig 1½ Zoll breit und 2 Zoll lang sehr genau ausarbeiten, wie Fig. 255 *a* dieses zeigt. Jede Gabel hatte unten ein Auge, in welches die eiserne Axe passte, die Enden der Gabeln, worin sich diese Augen befanden, waren aber auf eine angemessene Art verstellt, wie dieses Fig. 255 *c* zeigt, wodurch es möglich wurde, die Mittellinien der sämmtlichen Gabeln wieder in dieselbe Ebene zu bringen. Das Einsetzen der Gabeln erfolgte in der Art, dass sie der Reihe nach in die beschriebene Oeffnung in der Walze eingesetzt und demnächst die Axe durch die Augen von allen Gabeln hindurchgesteckt wurde; die Axe war an einer Seite vierkantig ausgeschmiedet, und sobald sie recht fest in die Walze eingetrieben wurde, so steckten die sämmtlichen Gabeln zwar noch ganz lose auf der Axe und man konnte sie nach vorn und nach der Seite bewegen, aber ihre Entfernung von der Axe war bereits vollständig gesichert. Hierauf liess ich die Axe auf die Pfannenlager legen, so dass sie gedreht werden konnte, und unter fortwährendem Nachmessen der Entfernungen zwischen den einzelnen Gabeln und unter beständiger Prüfung, ob die Einschnitte in allen Gabeln auch genau in dieselbe Ebene fielen, wurden Keile von Buchenholz recht scharf in die Oeffnungen der Walze eingetrieben, worauf endlich noch starke Bleche darüber genagelt wurden. Auf solche Art gelang es, die regelmässige Aufstellung darzustellen. Die Gabeln sind in der Mitte 1 Zoll breit und ebenso stark. Die Kettenglieder sind von Mitte zu Mitte des Bolzenloches 1 Fuss lang; sie wurden in dieser Beziehung besonders sorgfältig geprüft und zwar mittelst eines eisernen Lineales, worin zwei Bolzen fest eingeniethet waren. Diejenigen Glieder, welche keine Scheiben tragen, sind in der Mitte ½ Zoll breit und stark, sie haben an einem Ende einen und am andern zwei kreisförmige Lappen von 1½ Zoll Durchmesser, der einzelne Lappen

ist $\frac{3}{8}$ Zoll stark, jeder von den doppelten $\frac{5}{16}$ Zoll. Die Bolzen halten aber $\frac{3}{8}$ Zoll im Durchmesser. An jedem vierten Gliede ist eine Scheibe angebracht; ein solches Glied ist breiter und mit einem Ansatze versehen; an den Ansatz lehnt sich zunächst eine eiserne Scheibe, auf diese folgt eine mit eisernen Ringen beschlagene hölzerne Scheibe und dann das $\frac{1}{4}$zöllige Leder; auf der andern Seite ist wieder die hölzerne und eiserne Scheibe angebracht und ein durch die Axe hindurchgetriebenes Splint verbindet Alles recht fest mit einander. Am untern Ende der Pumpe läuft die Kette über keine zweite Walze, sondern es war daselbst nur ein starker gehörig abgerundeter Klotz angebracht, um sie ganz sicher und ohne dass sie gegen die Ecken stossen konnte, in die Röhre zu leiten.

Die Lederscheiben waren Anfangs von demselben Durchmesser wie die Röhre, doch zeigte es sich, dass die Reibung alsdann so stark wurde, dass die Maschine kaum bewegt werden konnte und eben deshalb nur einen sehr geringen Effect gab; ich liess daher die Scheibe ringsum einen halben Zoll abschneiden, so dass sie nunmehr einen Spielraum von einem vollen Zolle hatte. Der Erfolg entsprach ganz der früher erwähnten Erscheinung, dass sich nämlich kein Wasserverlust zeigte, sobald die Geschwindigkeit nur hinreichend gross war. Der hierüber angestellte und mehrmals wiederholte Versuch zeigte, dass bei einer Geschwindigkeit der Kette von $4\frac{1}{2}$ Fuss in der Secunde die geförderte Wassermenge sehr genau einem Wassercylinder entsprach, der $4\frac{1}{2}$ Fuss hoch war und die Weite des Bohrloches zum Durchmesser hatte, diese Weite war bei der einen Pumpe 8 und bei der andern 9 Zoll Das Wasser goss dabei so stark aus, dass es über die 1 Fuss hohe Wand der aufgesetzten Rinne herüberfloss. Die Bewegung erhielt die Maschine durch zwei Kurbeln, woran 4 Mann arbeiteten, ausserdem waren an jede Kurbel noch 2 Zugstangen angebracht, wodurch noch 16 Mann angestellt werden konnten. Alle 10 Minuten musste eine Abwechselung erfolgen und man brauchte, um die Maschine einige Stunden hindurch im Gange zu erhalten, 60 Mann, es wurden aber in der Secunde bis 2 Cubikfuss auf 10 Fuss Höhe gehoben. Dabei ist noch zu bemerken, dass bei der Anwendung zum Heben eines mit Ballast beladenen Schiffes die Pumpe eine Menge Sand und sogar feinen Kies mit heraufbrachte, ohne

dass dieses im mindesten ihren Gang hemmte, oder sie dadurch beschädigt wurde. (Verhandl. des preuss. Gewerbevereins. 1829.)

Zuweilen hat man andererseits sich auch bemüht, der Kettenpumpe einen recht dichten Schluss zu geben, indem man die Röhre aus Eisen darstellte und sie gehörig ausbohrte; bei grosser Geschwindigkeit ist diese Vorsicht nach den erwähnten Erfahrungen ganz überflüssig. Wenn man aber dieser ausgebohrten Röhre nur eine kurze Länge giebt, so dass nur eben eine oder zwei Scheiben sich gerade darin befinden und der übrige Theil der Steigröhre eine grössere Weite hat, so muss natürlich das Wasser in diesen beiden Theilen auch verschiedene Geschwindigkeiten annehmen, wodurch bei grosser Geschwindigkeit wahrscheinlich ein namhafter Widerstand entsteht. Eine andere Abänderung bezieht sich noch darauf, dass man zuweilen auch die herabgehende Kette in einer zweiten Röhre oder Rinne herabführt, was gewiss sehr vortheilhaft ist, um ein Gegenstossen von fremden Körpern sicher zu vermeiden; dass man aber häufig eine zweite Walze unten anbringt, ist bereits erwähnt worden.

Ein Uebelstand liegt bei dieser Maschine darin, dass man die Förderungshöhe nicht willkührlich verändern kann; bei geringen Geschwindigkeiten ist es zwar zulässig, in jeder beliebigen Höhe eine Ausgussöffnung einzuschneiden, doch steht es kaum zu erwarten, dass bei einer grossen Geschwindigkeit der Kette auf solche Art noch ein vollständiger Abfluss dargestellt werden kann.

Endlich sind noch diejenigen Schöpfmaschinen zu erwähnen, wobei der Kolben in der fest aufgestellten Röhre abwechselnd sich auf- und abbewegt; dieses sind die Pumpen. Ich übergehe ihre Beschreibung, da sie genugsam bekannt sind; es ist nur zu bemerken, dass sie sich für die Trockenlegung einer Baugrube wegen ihrer mässigen Anschaffungskosten, sowie wegen des geringen Raumes, den sie zur Aufstellung bedürfen, ganz besonders eignen und sie auch erlauben, die Ausgussöffnung beliebig hoch anzubringen; man kann sie auch, wenn es nöthig sein sollte, in jeder beliebigen Neigung aufstellen. Dagegen ist die Abwechselung der Bewegung, die bei jedem Zuge erfolgt, immer mit einigem Kraftverluste verbunden und sie veranlasst ausserdem auch einen sehr starken Wasserverlust, besonders wenn der Kolben und die Ventile nicht recht dicht sind. Endlich

aber werden die Pumpen bei unreinem Wasser, das vielen Sand führt, auch bald undicht und sie versagen alsdann wohl endlich ganz ihren Dienst. Will man die Pumpen aus Holz in grossen Dimensionen darstellen, so setzt man sie aus Bohlen zusammen und giebt ihnen alsdann gewöhnlich einen quadratischen Querschnitt, wie dieses schon Bélidor empfiehlt, doch kommen auch achteckige Pumpen vor. *)

Sehr wichtig ist die Vorsicht, die man zuweilen bei Pumpen anzuwenden versucht hat, um das Wasser immer nur gerade so hoch zu heben, dass es eben in das äussere Wasser überfliesst. Hierher gehört die beim Bau der Thiergartenschleuse bei Oranienburg gewählte Anordnung, wonach auf dem Fangedamme eine Druckpumpe aufgestellt wurde, welche am untern Ende mit der Saugröhre und der Ausgussröhre in Verbindung stand; beide waren mit Klappenventilen geschlossen und reichten in wasserdichten Röhren respective bis unter das Wasser in der Baugrube und bis unter das äussere Wasser herab. **) Sobald also der Kolben der Druckpumpe sich abwärts bewegt, so kommt ihm der Druck des im Ausgussrohre befindlichen Wassers zur Hülfe, beim Heben des Kolbens kann indessen dieser Druck wohl von keinem Einflusse sein. Eine andere Einrichtung, die diesen Zweck sicherer erfüllen möchte, die aber freilich sehr complicirt ist, legte Japelli, ein Venetianischer Baumeister der Pariser Akademie vor, welche sich sehr günstig darüber aussprach. Die im Arsenale zu Venedig damit angestellten Versuche hatten auch die Zweckmässigkeit der Anordnung bewährt ***), da jedoch die Maschine wegen ihrer complicirten Einrichtung zum Trockenlegen von Baugruben sich nicht eignen dürfte, so übergehe ich sie hier.

In der vorstehenden Beschreibung der verschiedenen Schöpfmaschinen, die zur Trockenlegung der Baugruben benutzt werden, habe ich die damit erreichten Effecte nur kurz berührt, aber alle specielle Berechnungen, wie man sie in vielen Lehrbüchern findet, vermieden. Solche Untersuchungen sind für die Anwendung auch von keinem besondern Nutzen, da sie grossentheils auf unsichern

*) *Civil Engineer and Architect's Journal. I. p.* 149.

**) Verhandlungen des preussischen Gewerbevereins 1836. S. 84.

***) *Annales des ponts et chaussées.* 1836. *II. p.* 112.

Hypothesen beruhen; im Allgemeinen wird man aber die Wirkung immer ungefähr beurtheilen können, wenn man das Moment der Betriebskräfte gehörig in Ansatz bringt. Bei einer vollkommenen Maschine wird dieses dem Nutzeffecte gleich sein; jemehr Reibung und andere Hindernisse jedoch vorkommen, oder je grösser die Höhe ist, von der das Wasser unbenutzt wieder herabfliesst, um so kleiner bleibt der Effect. Der letzte Umstand lässt sich für jede Maschine ziemlich genau bezeichnen, für die ersten muss man dagegen nach der jedesmaligen Einrichtung der Maschine den Werth ungefähr zu schätzen suchen, alsdann wird man vor groben Missgriffen ziemlich sicher sein. Um indessen einen ungefähren Anhalt hierbei zu geben, will ich die von Gauthey zusammengestellten Erfahrungen, auf preussisches Maass reducirt, hier folgen lassen. Die Zahlen bezeichnen die Effecte, oder die Producte aus den Förderungshöhen in die Anzahl von Cubikfuss Wasser, die ein Mann an einem Tage durchschnittlich hebt:

beim Schöpfen mit Eimern	4800
beim Drehen der Kurbel am geneigten Schaufelwerk	7070
beim Pumpen	8740
beim Drehen der Kurbel an der archimedischen Schnecke	9360
desgleichen an der Kettenpumpe	12168
beim Gehen in dem Laufrade, das mit dem Schneckenrade verbunden ist.	18720

§. 47.

Fundirung auf Béton.

In vielen Fällen ist der Zudrang des Wassers so stark, dass man die Baugrube gar nicht trocken legen kann und sonach die Fundirung nach den gewöhnlichen Methoden nicht auszuführen ist; zuweilen darf man aber, wenn die Beseitigung des Wassers auch möglich wäre, die Schöpfmaschinen doch nicht mit voller Kraft wirken lassen, weil die aufsteigenden Quellen dem Boden seine natürliche Festigkeit und Tragfähigkeit nehmen könnten. Man muss alsdann eine Fundirungsart wählen, wobei das Wasserschöpfen entbehrlich wird. Einige hierher gehörige Methoden, die jedoch nur selten Anwendung gefunden haben und die in mancher Beziehung auch bedenklich sind, sind bereits erwähnt

worden. Für diesen Fall eignet sich aber besonders die Fundirung auf Béton; es wird nämlich auf der Sohle der mit Wasser angefüllten Baugrube, und oft in bedeutender Tiefe unter Wasser, ein festes und wasserdichtes Mauerwerk ausgeführt, welches das Fundament des ganzen Baues bildet. Die gewöhnliche Art des Mauerns, wobei nämlich lagerhafte Steine schichtenweise in gehörigem Verbande versetzt und die Lagerfugen und Stossfugen sorgfältig mit Mörtel gefüllt werden, lässt sich unter solchen Verhältnissen nicht füglich anwenden; man muss vielmehr ein Verfahren wählen, wobei die vollständige Ausfüllung aller Fugen mit Mörtel und zugleich einiger Verband zwischen den Steinen sich von selbst darstellt. Die letzte Bedingung wird indessen immer nur sehr unvollständig erreicht werden können, und daher hat dieses Mauerwerk bei gleicher Güte des Materiales und bei gleichen Dimensionen nicht die Festigkeit des gewöhnlichen, oder um eine gleiche Festigkeit zu erreichen, muss man eine grössere Stärke wählen. Das Verfahren ist aber dieses, dass man den Steinen schon vorher die angemessene Quantität Mörtel zusetzt und sie alsdann möglichst regelmässig versenkt. Ein solches Gemenge aus Steinen und Mörtel nennt man in Frankreich, wo diese Fundirungsart schon seit langer Zeit im Gebrauche ist, Béton*), und dieselbe Benennung ist auch in Deutschland eingeführt.

Was die Zusammensetzung des Betons betrifft, so sind dabei manche Bedingungen zu berücksichtigen. Der Mörtel muss die Eigenschaft haben, dass er unter Wasser erhärtet; die Steine müssen von der Grösse und Form sein, dass sie bei jeder zufälligen Schüttung eine möglichst geschlossene Lage annehmen und gewissermaassen auch immer einigen Verband bilden, und endlich muss zwischen dem Mörtel und den Steinen das passende Verhältniss gewählt sein, damit alle Fugen wirklich mit Mörtel gefüllt und dennoch die Steine nicht in zu weiter Entfernung von einander gehalten werden.

Das schnelle Erhärten des Mörtels, sowie die Festigkeit, die er annimmt, scheint nach den neuern Untersuchungen allein

*) Bélidor erzählt in der *Architecture hydraulique Tome IV. p.* 187., dass der eine Hafendamm in Toulon schon im Jahre 1748 auf Béton fundirt wurde.

davon abzuhängen, dass der Kalkbrei in recht vielfache Berührung mit dem zugesetzten Sande kommt. Der reine Kalk bildet, wenn er gebrannt und gelöscht ist, an sich keine feste Masse, denn wie er nach und nach das Wasser an die Luft absetzt, so zerbröckelt er, indem sich Risse und Spalten darin bilden, und selbst die kleinen ausgetrockneten Stückchen, in welche der Kalkbrei sich endlich verwandelt, haben keine grosse Härte und lassen sich leicht zwischen den Fingern zerreiben. Auf Steinen mit recht glatter Oberfläche, wo also die Berührung auch geringe bleibt, haftet der Kalk und der Kalkmörtel nur wenig; deshalb geben polirte Steine und solche, welche einen muscheligen Bruch und eine glänzende Oberfläche zeigen, kein festes Mauerwerk, wohl aber lässt sich ein solches durch rauhe und vorzugsweise durch recht poröse Steine darstellen, bei denen sonach die Berührungsfläche eine viel grössere Ausdehnung gewinnt. So fand Rondelet, dass derselbe Mörtel mit einer doppelt so grossen Kraft auf dem porösen Mühlsteine, der an der Marne bricht, haftete, als an einem glatt geschliffenen Kalksteine.

In derselben Art, wie der Mörtel an den Mauersteinen haftet, so haftet auch wieder in dem Mörtel der Kalk an den einzelnen Sandkörnchen; auch hier ist die Verbindung in dem Falle am innigsten, wenn die Kalkmasse möglichst dünne Lagen bildet und sie die Sandkörnchen recht vielfach berührt. Hierdurch erklärt es sich, dass der scharfe Sand einen viel bessern Mörtel giebt, als der matte, bei dem die Ecken abgeschliffen sind, und wenn man den Sand aus einem Materiale darstellt, das auch bei einer feinen Zertheilung noch die scharfen Kanten und die rauhe Oberfläche beibehält, wie der Trass und die Puozzolane, so erhärtet der Mörtel um so schneller und er bindet um so fester, je weiter die Zerkleinerung getrieben war. Auf die chemische Zusammensetzung des Sandes und der Steine scheint es nicht anzukommen, und wenn man einen Unterschied zwischen den verschiedenen Arten derselben bemerkt, so erklärt derselbe sich schon durch die Verschiedenheit der Oberfläche, welche das Material im natürlichen Zustande oder nach der Verarbeitung zeigt. Ein Stein von geringer Härte wird, wenn er zerkleinert wird, keinen scharfen Sand geben und aus diesem Grunde ist ein solcher zur Mörtelbereitung auch nicht geeignet.

Der Sand, wie er in der Natur vorkommt, besitzt bald mehr, bald weniger Schärfe, und hiernach richtet sich die Güte des daraus bereiteten Mörtels; es zeigen jedoch selbst die besten Arten des Sandes nicht die Bindekraft, die man zuweilen verlangt und die namentlich beim Béton erforderlich ist. Es rührt dieses davon her, dass der natürliche Sand, wie er sich in grossen Ablagerungen vorfindet, nicht den nöthigen Grad von Feinheit besitzt, und er durch die Strömungen, die ihn eben in grossen Massen anhäuften und ihn von fremden Substanzen reinigten, bereits abgeschliffen ist und dadurch die volle Schärfe verloren hat. Dagegen sind durch vulkanische Einwirkung manche Gebirgsarten entstanden, die sich künstlich sehr fein zerkleinern lassen und in diesem Zustande noch eine rauhe und scharfe Oberfläche zeigen. Wenn ein solches Material statt des Sandes dem Kalke zugesetzt wird, so stellt sich der schnell erhärtende und fest bindende Mörtel dar, der zu verschiedenen Zwecken und namentlich bei Fundirungen von der äussersten Wichtigkeit ist und den man hydraulischen Mörtel nennt. Hierher gehört zunächst die Puozzolane, die an den Ufern der Tiber bricht und die man schon im Alterthume kannte; sie wird auch heut zu Tage bei den Wasserbauwerken in Italien und im südlichen Europa vielfach benutzt. In Deutschland und Holland wendet man dagegen ein anderes ähnliches Product, nämlich den Trass an; derselbe verdient wegen des häufigen Gebrauches, den man bei uns von ihm macht, eine ausführlichere Beschreibung.

Der Trass kommt vielfach auf dem östlichen Abhange der Eifel und namentlich im Thale des Brohlbaches in der Nähe von Andernach vor. Dieses Thal ist im Thonschiefergebirge eingeschnitten und grossentheils mit Trass ausgefüllt, so dass derselbe bis unter die Sohle des jetzigen Bachbettes herabreicht. Interessant ist es, dass man die Trassablagerungen vorzugsweise in den zurückspringenden Erweiterungen des Thales; also gerade da vorfindet, wo ein starker Strom, der das Thal verfolgt, zu Versandungen am meisten geneigt sein würde. Hiernach ist es nicht unwahrscheinlich, dass der Trass durch das Wasser als Schlamm herbeigeführt und abgesetzt wurde; dass er demnächst aber erhärtete. Der Grad seiner Festigkeit und Härte ist sehr verschieden; die untern Lagen, die man in früherer Zeit häufig als Bausteine

verwendete, sind einem weichen Sandsteine ähnlich; sie werden mit Pulver losgesprengt, und wenn sie lange der Luft ausgesetzt gewesen sind und die Bergfeuchtigkeit vollständig verloren haben, so lassen sie sich zwar immer noch leicht bearbeiten, aber sie zeigen schon eine grosse Festigkeit und Tragfähigkeit. Viel weicher sind die obern Lagen, die man auch gegenwärtig noch als Bausteine zum Ausmauern von Fachwänden benutzt, und endlich kommt der Trass noch in ganz losen Massen in der Form von Sand vor. Zur Darstellung des Mörtels ist der feste Stein im Allgemeinen der beste, den man daher ächten Trass nennt; er wird gegenwärtig nur zur Mörtelbereitung benutzt, denn sein Werth hat sich in der letzten Zeit so hoch gestellt, dass er als Baustein viel zu theuer sein würde; es geschieht sogar, dass man alte Gebäude, die aus Trasssteinen erbaut sind, nur in der Absicht abbricht, um die Steine zur Mörtelfabrikation zu benutzen. Die weicheren Sorten und selbst den erwähnten Sand nennt man wilden Trass, und man benutzt diesen gleichfalls zur Mörtelbereitung, doch besitzt er nur geringe Bindekraft und steht wohl theilweise einem guten Kieselsande nur gleich.

Im Allgemeinen enthält der Trass sehr viele fremdartige Körper, und vorzugsweise findet man Thonschieferstücke von verschiedener Grösse und Bimsstein darin eingesprengt, auch vegetabilische Stoffe und namentlich Holzkohlen kommen vielfach in ihm vor. Die Farbe des Trasses variirt vom Grauen ins Braune und geht oft in ein helles Blau über, doch zeigt sich das Letztere nicht früher, als bis die Stücke ganz ausgetrocknet sind.

Will man die Güte des Trasses nach seinen äussern Kennzeichen beurtheilen, so kann dieses mit einiger Sicherheit nur geschehen, wenn er noch nicht pulverisirt ist. Er muss möglichst fest und hart sein, so dass die scharfen Ecken sich nicht leicht abbrechen und noch weniger die kleinen Stücke sich zwischen den Fingern zerreiben lassen. Besonders muss der Trass sich scharf anfühlen, und indem die Beimengungen von Thonschiefer und Bimsstein dem Mörtel keine Bindekraft ertheilen, sondern ihn nur verunreinigen, so ist auch derjenige Trass immer vorzuziehen, der am reinsten ist. Gewöhnlich schätzt man den grauen Trass höher als den braunen und giebt dem lichtblauen

vor allen andern den Vorzug, doch ist dieses Kennzeichen allein nicht entscheidend. Wenn der Trass pulverisirt ist, so pflegt man seine Güte nach dem Niederschlage zu beurtheilen, der sich bildet, sobald man ihn in ein Glas Wasser geschüttet und dieses umgerührt hat. Am besten ist der Trass, wenn der Niederschlag sogleich vollständig erfolgt und keine verschiedenen Schichten sich darin zu erkennen geben. Die lange anhaltende Trübung des Wassers zeigt gewöhnlich einen starken Thongehalt an, der oft von dem Thonschiefer herrührt. Doch ist diese ganze Probe wenig sicher, indem der wilde Trass, wenn er sonst rein ist, sich hierdurch von dem ächten kaum unterscheiden lässt.

Das sicherste Verfahren zur Prüfung des Trasses besteht darin, dass man durch directe Versuche sich von seiner Bindekraft überzeugt. In Holland ist es üblich, dass man Kasten von etwa 1 Fuss Weite und Höhe aus guten Ziegelsteinen mit Trassmörtel aufmauert; die Stärke der Wände und des Bodens ist nur der Dicke der Steine gleich. Nach vier und zwanzig Stunden füllt man den Kasten mit Wasser, und der Trass wird nur in dem Falle für gut erkannt, wenn kein Durchsickern des Wassers erfolgt. Weniger umständlich und zum Theil noch sicherer ist es, Klumpen von Mörtel zu bilden, die man sogleich ins Wasser wirft und nach einem oder mehreren Tagen ihre Festigkeit untersucht. Der Grad der Festigkeit giebt sich am leichtesten durch den Widerstand zu erkennen, den der Mörtel dem Eindringen einer zugeschärften Stahlspitze entgegensetzt. In Frankreich wird dieses Verfahren zur Prüfung der Cemente ganz gewöhnlich angewendet. Schon vor zwanzig Jahren gab Vicat die folgende Probe zur Beurtheilung der hydraulischen Eigenschaft des Mörtels an; man bereitet nämlich aus dem frisch gebrannten Kalke den Mörtel und füllt damit ein gewöhnliches Trinkglas bis zum dritten Theile oder zur Hälfte an; darüber giesst man Wasser und versucht nach zwei oder drei Tagen, ob man mit dem Finger noch einen Eindruck leicht machen kann. Ist dieses nicht möglich, so hat man einen stark hydraulischen Kalk untersucht, wenn dagegen ein solcher Grad von Härte sich erst nach einem Monate einstellt, so ist der Kalk wenig hydraulisch, und wenn er in dieser Zeit unter Wasser weich bleibt, so fehlt ihm die hydraulische Eigenschaft gänzlich. Gegenwärtig hat man bei den Versuchen

dieser Art in Frankreich bestimmtere Maasse und Gewichte eingeführt: man nimmt nämlich willkührlich aus jeder einzelnen angelieferten Quantität Cement eine oder mehrere Proben und bildet daraus in den passenden Mischungsverhältnissen den Mörtel, der auf die beschriebene Art in Gläsern unter Wasser erhärtet. Ein von aussen auf das Glas geklebter Zettel bezeichnet diejenige Masse, woraus die Probe entnommen ist, sowie auch den Tag und die Stunde der Mörtelbereitung, und enthält ausserdem die laufende Nummer, damit man die Resultate der spätern Versuche leicht im Journale nachweisen kann. Zu diesen Versuchen dient ein kleines dreibeiniges Gestelle, das sich über jedes der Probegläser stellen lässt; es trägt im Abstande von etwa 6 Zollen zwei durchbohrte Blechscheiben, welche einen Stahlstift in senkrechter Richtung halten, ohne sein Herabsinken zu verhindern. Dieser Stift ist etwa eine Linie stark, unten zugeschärft und oben mit einem Gewichte von einem halben Kilogramme (34 Loth) beschwert. Man lässt bei der Probe die Stahlspitze sanft auf den Mörtel herabsinken und beobachtet, ob sie sich noch merklich eindrückt und mit welcher Geschwindigkeit dieses geschieht. Bei einem guten Cementmörtel darf nach 48 Stunden die Spitze nicht mehr eindringen, sondern eben nur die Oberfläche durchbrechen. Dieses Verfahren dient nicht nur dazu, um verschiedene Cementsorten mit einander zu vergleichen, sondern es begründet auch ein sehr sicheres Urtheil über das vortheilhafteste Mischungsverhältniss des Mörtels. Der Baumeister, der den Bau leitet, wird aber durch solche Proben auch noch in den Stand gesetzt, nicht nur die Güte des Trasses oder Cementes zu prüfen, sondern er kann auch später sich über jede einzelne Lieferung, die er annahm oder verwarf, mit voller Bestimmtheit ausweisen.

Der ächte Trass wird in grösseren Stücken von etwa einem halben Cubikfuss Inhalt gebrochen, und nachdem er etwas getrocknet ist, pulverisirt. Zu diesem Zwecke zerschlägt man ihn zunächst in kleinere Stücke von 2 bis 3 Zoll Durchmesser, und es ist vortheilhaft, hierbei schon die grösseren Thonschieferstücke, die sich ziemlich leicht trennen lassen, ganz zu beseitigen. Zum Pulverisiren dienen im Brohlthale am häufigsten Stampfwerke; die Stampfen sind etwa 2 Centner schwer und unten mit gusseisernen Schuhen versehen, welche die Gestalt einer

Halbkugel haben; sie werden in gewöhnlicher Art durch Daumen gehoben und ihre Hubhöhe beträgt etwa 18 Zoll. Unter ihnen befinden sich gusseiserne Tröge, die in starken Balken eingelassen sind; sie haben an der vordern Seite, einige Zolle über dem Boden, eine schmale Oeffnung. Durch diese Oeffnungen treten während der Bewegung der Stampfen kleine Trassstücke und feiner Trass heraus und Beides fällt auf geneigte Drahtsiebe, die durch das Mühlwerk gleichfalls gehoben und dadurch erschüttert werden. Der feine Trass geht durch die Siebe in die darunter gestellten Kasten, während die gröberen Körner und grösseren Stücke auf dem Boden vor dem Siebe sich ansammeln; diese letzten werden durch besondere Arbeiter wieder mit einer Schaufel aufgehoben und in die Tröge zurückgeworfen, während dieselben Arbeiter zugleich die Thonschieferstücke auslesen und frischen Trass unter die Stampfen bringen. Das Mahlen des Trasses ist in dem Brohlthale erst in neuerer Zeit eingeführt worden; das Fabrikat ist in diesem Falle besser, indem die Zerkleinerung weiter getrieben wird und daher bei gleicher Trassmenge die berührende Oberfläche grösser ist, das Verfahren ist aber schwieriger, woher es nur selten angewendet wird. Die Mühlen sind im Allgemeinen den Mahlmühlen gleich; mit dem Mühleisen dreht sich der Läufer über dem festliegenden Bodensteine. Beide Steine müssen überaus hart sein, indem sie sonst durch den scharfen Trass in ganz kurzer Zeit abgenutzt werden; man wendet allein die Mühlsteine von Niedermendig zu diesem Zwecke an, und es ist nöthig, selbst unter diesen die härtesten auszusuchen. Der Läufer wird aber in seiner untern Fläche concav bearbeitet, so dass er in der Nähe des Auges etwa 2 Zoll vom Bodensteine absteht; diese Anordnung ist nothwendig, weil sonst die Trassstücke gar nicht zwischen die Steine treten können. Auf die Form der Hauschläge scheint es wenig anzukommen, sehr wichtig ist es aber beim Mahlen des Trasses, dass kein festes Gestein von einiger Grösse mit hereingeführt wird, denn sobald dieses sich von dem Auge entfernt und dem Rande der Mühlsteine sich nähert, woselbst diese sich berühren, so drängt es sie mit Heftigkeit auseinander und wirft wohl den Läufer herab. Es ist sonach bei diesem Verfahren besonders nöthig, dass man den Trass, während man ihn in kleinere Stücke von höchstens 2 Zoll Durch-

messer zerschlägt, zugleich von allen grösseren fremdartigen Steinbrocken, die darin eingesprengt waren, sorgfältig reinigt.

Die Pulverisirung des Trasses wird zuweilen auf den Baustellen selbst vorgenommen, und im Allgemeinen möchte es vortheilhaft sein, diese Operation wenigstens unter zuverlässiger Controle ausführen zu lassen, damit die Güte des verwendeten Materiales ausser Zweifel ist. In Holland, wo sehr viel Trass benutzt wird, wird derselbe nur in Stücken eingeführt und dort verarbeitet.

Zum reinen Trassmörtel, der keinen Zusatz an Sand erhält, nimmt man auf 1 Cubikfuss Kalkbrei gewöhnlich 2 Cubikfuss pulverisirten Trass; doch hängt dieses immer von der Güte des Kalkes ab und man thut wohl, das Verhältniss jedesmal nach directen Versuchen zu ermitteln. Die Versuche ergeben indessen, dass ein geringer Zusatz von Sand durchaus unschädlich ist, und wenn das Mauerwerk nicht immer vom Wasser bedeckt bleibt, so versetzt man den Trass zur Hälfte mit Sand, und dieser Mörtel, den man verlängerten Trassmörtel nennt, ist bei der Anwendung über Wasser dem reinen noch vorzuziehen.

Die Zubereitung des Trassmörtels geschieht in folgender Art: nachdem man den Kalk und Trass abgemessen hat, so wird auf einem dichten Dielenboden der gelöschte Kalk etwas ausgebreitet und unter fortwährendem Durcharbeiten mit der Kalkhacke der Trass nach und nach zugeschüttet. Am vortheilhaftesten ist es, wenn man hierbei gar kein Wasser zusetzt, doch wird die Arbeit um Vieles erleichtert, wenn man Wasser zugiesst. Zuweilen geschieht das Durcharbeiten des Trassmörtels auch in der Art, dass die Arbeiter mit Holzschuhen ihn treten. Wenn aber sehr grosse Massen Mörtel dargestellt werden sollen, wie dieses namentlich bei der Bétonbereitung der Fall zu sein pflegt, so wendet man zuweilen besondere Mörtelmaschinen an. Dieselben haben im Allgemeinen den Nachtheil, dass man mehr Wasser zusetzen muss, wodurch der Mörtel immer an Güte verliert und namentlich langsamer erhärtet. Sie bestehen in hohlen Cylindern aus Holz oder aus Eisenblech, die in horizontaler Lage aufgestellt und an der obern Seite offen sind. An der eisernen Axe, welche durch eine Dampfmaschine oder auf andere Art in Bewegung gesetzt wird, befinden sich die Messer, die theils

senkrecht gegen die Axe stehen und theils parallel zu derselben liegen, und ausserdem müssen noch besondere Blätter an andern Armen befestigt sein, womit der Mörtel immer von der Wand des Cylinders abgestrichen wird. Bei den Schleusenbauten an der Ruhr sind diese Cylinder 5 bis 6 Fuss lang und halten etwa $2\frac{1}{2}$ Fuss im Durchmesser; die erwähnten Messer, welche den Mörtel durchschneiden, stehen aber etwa 3 Zoll von einander ab. Es werden auf einmal 3 Cubikfuss Kalkteig eingeschüttet, und die zugehörigen 6 Cubikfuss Trass müssen nach und nach zugesetzt werden, weil die Masse sonst plötzlich so steif wird, dass sie gar nicht mehr durchschnitten werden kann. Die Axe macht in der Minute durchschnittlich 50 Umdrehungen und in 9 Minuten ist der Mörtel gehörig bearbeitet. Man öffnet alsdann eine Klappe am Boden und der cubische Inhalt des Mörtels beträgt wieder nur ungefähr 6 Fuss, woraus es sich also ergiebt, dass der Kalkbrei nur eben die Zwischenräume zwischen dem Trass anfüllt, oder dass die Trasskörnchen sich noch dichter wie früher lagern. Die in Frankreich üblichen Mörtelmaschinen haben dagegen die Einrichtung, dass der Cylinder senkrecht steht; schon Perronet benutzte beim Bau der Brücke zu Neuilly eine ausgemauerte cylindrische Grube von 14 Fuss Durchmesser und $1\frac{1}{4}$ Fuss Tiefe, worin ein eiserner Rechen um eine verticale Axe durch ein Pferd gedreht wurde, und indem die Zinken oder Messer des Rechens etwa in 9 Zoll Abstand von einander bis nahe an den Boden der Grube herabreichten, so erfolgte auf diese Art die gehörige Mischung des Mörtels. Eine ganz ähnliche Vorrichtung wurde auch noch beim Bau des Canales St. Martin benutzt, doch wendete man daselbst gleichzeitig schon einen viel höheren gusseisernen Cylinder an, dessen verticale Axe mit mehreren Reihen horizontaler Arme versehen war, welche die abwärts gerichteten Messer trugen. Später hat man bei den Hafenbauten in Lorient und Toulon diese Maschine noch in der Art verändert, dass die horizontalen Arme theils an der Axe und theils an der Wand des Cylinders befestigt waren, und jedesmal gingen von diesen Armen sowohl nach oben, als auch nach unten Messer ab, so dass zwischen zwei feststehenden Messern immer ein drittes sich hindurchbewegte und auf solche Art ein sehr vollständiges Durcharbeiten des Mörtels erfolgte. Bei der in Lorient benutzten Maschine bestand der

Cylinder aus Gusseisen, er war beinahe 4 Fuss hoch, doch wurde er nur bis zur Höhe von etwas über 3 Fuss (woselbst die obern Messer angebracht waren) gefüllt; sein mittlerer Durchmesser betrug im Lichten 2 Fuss 3 Zoll, er war aber oben etwas weiter als unten. An der beweglichen Axe befanden sich drei starke Kreuze, die beinahe den Rand des Cylinders berührten, sie bildeten die zwölf Arme und an jedem derselben waren zwei Messer nach oben und drei nach unten gekehrt; nur an den obern vier Armen fehlten die nach oben gekehrten Messer. Zwei ähnliche Kreuze waren zwischen den erwähnten am Mantel des Cylinders befestigt und an den acht Armen derselben waren wieder jedesmal drei Messer aufwärts und drei abwärts gekehrt, zwischen denen die beweglichen Messer hindurchgingen. Die Länge aller Messer betrug 6 Zoll. Die Axe war unmittelbar mit zwei sich kreuzenden Zugbäumen verbunden, woran vier Pferde gespannt wurden; in 10 Stunden lieferte diese Maschine 30 Cubikmeter oder 970 Cubikfuss Mörtel.*)

Sobald der Trassmörtel zubereitet ist, so wird er gewöhnlich sogleich verarbeitet, und dieses ist auch nöthig, weil er nach wenig Stunden schon merklich erhärtet. In Holland hat man jedoch die Gewohnheit, ihn zuerst etwas erhärten zu lassen und alsdann, ohne dass Wasser hinzugesetzt wird, ihn aufs Neue durchzuarbeiten. Dieses geschieht mittelst schmaler eiserner Schlägel, womit der Mörtel sehr regelmässig geschlagen wird, so dass ein Schlag immer dicht neben der Stelle geführt wird, wohin der vorhergehende Schlag traf. Dadurch wird der Mörtel wieder so weich, wie er früher war, und er soll, wenn er nunmehr erhärtet, noch besser binden, was sich wohl nur dadurch erklären lässt, dass die Vermischung viel vollständiger erfolgt ist. Es kommt auch wohl vor, dass er noch zum dritten Male, auch wohl noch häufiger, vor dem Gebrauche durchgearbeitet wird.**)

Zur Darstellung des hydraulischen Mörtels hat man es häufig versucht, statt des Trasses gebrannte und pulverisirte Thon-

*) Sganzin, *programme. 4. édition. I. p.* 49.

**) Schulz erzählt im „Versuche einiger Beiträge zur hydraulischen Architektur," dass in Holland der Trassmörtel drei Tage hindurch alle 2 bis 4 Stunden durchgearbeitet würde; gegenwärtig ist dieses Verfahren wohl nicht mehr üblich.

erde anzuwenden; am gewöhnlichsten ist hierzu Ziegelmehl benutzt worden, zuweilen aber hat man auch eine besonders feine Thonerde allein zu diesem Zwecke zubereitet. Das letzte geschah vor etwa 20 Jahren in Holland, bei Gelegenheit der bedeutenden Schleusenbauten am nordholländischen Canale, wozu die damals eingerichteten grossen Fabriken von van Kasius den künstlichen Cement lieferten; derselbe bestand aber nur aus dem gebrannten und gemahlnen Baggerschlick aus dem Y. Der daraus bereitete Mörtel, wie er an den erwähnten Schleusenbauten verwendet wurde, nahm indessen gar keine besondere Härte an, und möglicher Weise war er Veranlassung, dass die Buickslooter Schleuse gleich, nachdem sie fertig geworden war, durchbrach und die Docke in Nieuwendiep später so höchst bedenkliche Beschädigungen erlitten hat und in den Mauern vielfach gebrochen ist.

Wesentlich verschieden von der bisher beschriebenen Zusammensetzung des hydraulischen Mörtels sind diejenigen Mischungen, worin die Eigenschaft, unter dem Wasser zu erhärten, dem Kalke selbst beiwohnt; es giebt nämlich manche Kalkarten, die eine grosse Menge von sehr fein zertheilter Thonerde, auch wohl Kiesel- und andern Erdarten enthalten, und dieser Zusatz bildet nach dem Brennen des Kalkes schon den feinen und scharfen sandförmigen Körper, der eben die vielfache Oberflächenberührung des Kalkbreies bewirkt. Man nennt einen solchen Kalk, magern oder hydraulischen Kalk; er unterscheidet sich von dem gewöhnlichen fetten Kalke dadurch, dass er beim Einlöschen weniger gedeiht, oder verhältnissmässig eine geringere Quantität Kalkbrei liefert, auch ist die Farbe eben wegen der fremden Bestandtheile weniger rein und oft stark bräunlich. Wenn man solchen Kalk zu Mörtel bearbeitet, so muss der Zusatz an Sand geringer bleiben, indem ein Theil desselben schon beigemischt war. Enthält der Kalk 10 Procent Thonerde, so giebt er sich schon in geringem Grade als hydraulischer Kalk zu erkennen; beträgt die Thonerde dagegen 20 bis 30 Procent, so erhärtet der daraus gebildete Mörtel sehr fest unter dem Wasser, und gerade bei diesem Mischungsverhältnisse pflegt man den Kalk magern Kalk zu nennen. Nach dem Brennen lässt er sich einlöschen, ohne dass man ihn künstlich zu pulverisiren braucht, und er bedarf noch eines starken Zusatzes von Sand, wenn er zu Mörtel

verarbeitet wird. Die beiden letzterwähnten Eigenschaften verschwinden, sobald der Kalkstein 40 bis 60 Procent Thonerde enthält; man nennt ihn alsdann Cement. Er zerfällt nach dem Brennen weder an der Luft, noch im Wasser und er muss daher gemahlen werden, dagegen lässt er sich ohne allen Zusatz von Sand schon in einen Mörtel verwandeln, der selbst unter dem Wasser erhärtet. Wenn endlich die Thonerde 70 bis 90 Procent beträgt, so muss man nicht nur nach dem Brennen die Steine pulverisiren, sondern bei der Mörtelbereitung noch fetten Kalk hinzusetzen; zuweilen lässt sich auch auf diese Art ein sehr brauchbarer hydraulischer Mörtel darstellen.

Von besonderer Wichtigkeit sind in der neuesten Zeit die Cemente geworden und namentlich der Roman Cement, den man in der Nähe von London und an der englischen Küste des Canales aus Lesesteinen bereitet. Nachdem er gebrannt und gemahlen ist, muss man ihn vor dem Zutritt der Luft schützen, weil er dadurch sehr schnell an seiner Güte verliert. Er wird aus diesem Grunde in England sehr sorgfältig in Fässer verpackt, die mit Pech ausgegossen und oben mit vielfachen Lagen Löschpapier bedeckt sind; doch selbst in dieser Umschliessung muss er in recht trocknen und luftigen Räumen aufbewahrt werden. Man kann ihn ohne allen Zusatz an Sand verbrauchen, doch erhärtet der Mörtel alsdann weniger schnell und fest, als wenn man scharfen Sand beimengt; gewöhnlich werden gleiche Volumina Cement und Sand vermischt, und es scheint, dass ein noch stärkerer Zusatz an Sand die Güte des Mörtels nicht beeinträchtigt. Durch die oben erwähnten Proben kann man für jeden Cement das passende Mischungsverhältniss leicht ermitteln. Der Mörtel muss unmittelbar vor dem Gebrauche zubereitet werden, wobei es wieder vortheilhaft ist, möglichst wenig Wasser zuzusetzen. Er erhärtet noch schneller als der Trassmörtel, und wenn das Material unversehrt war und mit Vorsicht angemacht und aufgetragen wurde, so ist dieser Mörtel nicht nur für das Wasser ganz undurchdringlich, sondern er verträgt auch ohne Nachtheil abwechselnd Nässe und Trockenheit, und Hitze und Kälte schaden ihm eben so wenig. Selbst Mauern, die in der Nähe der Meeresküste dem heftigsten Schlagregen ausgesetzt sind, lassen sich durch einen Ueberzug mit diesem Mörtel vollkommen sicher stellen, wie ich

dieses in mehreren Fällen in Pillau gesehen habe. Die Cemente dieser Art werden gegenwärtig keineswegs ausschliesslich in England gewonnen und bereitet; auch in Deutschland und Frankreich hat man an vielen Orten Kalkarten entdeckt, welche dieselben Eigenschaften, wie der englische Roman Cement, zeigen, und sie haben bereits beinahe allgemeinen Eingang gefunden.

Endlich hat man auch die oben angegebenen **Mischungsverhältnisse künstlich dargestellt**, und auf solche Weise magere Kalke, Cemente und durch überwiegenden Thongehalt auch künstliche Puozzolane (wie man dieses Fabrikat in Frankreich nennt) bereitet. Der Grund, weshalb man aber zur Zusammensetzung dieser Kalkarten sich entschlossen hat, liegt nicht sowohl darin, dass sie in den Gebirgsformationen nicht in hinreichender Menge vorkommen, es ist vielmehr bei diesen stark versetzten natürlichen Kalkarten das Mischungsverhältniss immer sehr veränderlich, und die Cementfabriken, die solches Gestein verarbeiten, liefern daher gemeinhin eine sehr verschiedenartige Waare, wenn nicht eine ganz besondere Sorgfalt auf die Auswahl des Materials verwandt wird. Bei der künstlichen Zusammensetzung treten solche Wechselfälle in weit geringerem Grade ein, und nach den in Frankreich gemachten Erfahrungen steht das Product den natürlichen Cementen nicht nach. Das Verfahren der künstlichen Zusammensetzung ist im Allgemeinen dieses, dass man den Kalk pulverisirt und ihn dem mit Wasser angemachten kieselhaltigen Thone oder einer guten Ziegelerde in dem passenden Mischungsverhältnisse zusetzt und demnächst Brode von der Grösse kleiner Ziegelsteine formt und solche nach dem Trocknen brennt. Es lassen sich jedoch nur wenige Kalkarten im natürlichen Zustande leicht pulverisiren; dieses ist namentlich nur beim weichen Mergel, der Kreide und dem Muschelkalke möglich, daher ist es bei andern Kalkarten erforderlich, dieselben zuvor zu brennen, und nachdem sie an der Luft zerfallen sind, sie in der beschriebenen Art dem Lehme beizumischen und alsdann nochmals zu brennen. In beiden Fällen muss das Fabrikat, wenn es Cement oder künstliche Puozzolane darstellt, nach dem Brennen aber noch gemahlen werden. Diese Bereitung des Cementes ist in Frankreich vielfach im Grossen ausgeführt worden; die künstliche Puozzolane hat dagegen noch nicht allgemeinen Eingang gefunden. Es scheint,

dass bei dem beschriebenen Verfahren die einzelnen Körnchen des gebrannten Thones oder des Sandes wegen der Beimengung des Kalkes weniger ihre Schärfe verlieren, als wenn sie in reinem Zustande gemahlen werden und deshalb diese Mischung ein günstigeres Resultat giebt, als wenn man sie unmittelbar bei der Mörtelbereitung darstellt. *)

Was die Steine betrifft, die man zum Béton verwendet, so ergiebt es sich schon aus dem Vorhergehenden, dass eine rauhe Oberfläche ihnen nicht fehlen darf, damit der Mörtel daran gut haftet; ausserdem ist man gemeinhin auch der Ansicht, dass sie recht scharfkantig sein müssen, um einen guten Verband darzustellen. Nicht selten werden indessen statt der scharfkantigen Steinbrocken auch rund abgeschliffene Flussgeschiebe benutzt, was namentlich in England geschieht. Eine fernere Bedingung ist es, dass die Steine auch an sich den gehörigen Härtegrad besitzen müssen, weil sonst kein festes Mauerwerk daraus dargestellt werden kann. Vor ihrem Verbrauche werden sie, wie andere Mauersteine, in Wasser getaucht oder auf andere Art stark benetzt, weil sie sonst dem Mörtel zu schnell die Feuchtigkeit entziehen und dadurch seine vollständige Erhärtung beeinträchtigen. Die Grösse der Steine muss natürlich viel geringer sein, als die Stärke der einzelnen Bétonschichten, und sie muss auch der Grösse der noch zulässigen Unebenheiten und ebenso der ganzen Einrichtung des Apparates entsprechen, womit die Versenkung geschieht. Man könnte leicht vermuthen, dass es vortheilhaft wäre, wenn man grössere und kleinere Steine zugleich verwendet, damit die kleinen die Zwischenräume zwischen den grösseren zum Theil schon ausfüllen und dadurch den Bedarf an Mörtel, der immer besonders kostbar ist, möglichst vermindern. Dieses findet indessen nicht statt, denn bei der ganz zufälligen Ablagerung der Steine, die eben wegen des dazwischen befindlichen steifen Mörtels nie sehr

*) Ueber die Fabrikation künstlicher Cemente und hydraulischer Kalke sind in neuerer Zeit vielfache Untersuchungen angestellt und bekannt gemacht worden. Ich begnüge mich hier, dasjenige Werk zu nennen, wodurch die allgemeine Aufmerksamkeit besonders auf diesen Gegenstand gerichtet wurde, es ist: *Recherches expérimentales sur les chaux de construction, les bétons et les mortiers ordinaires, par Vicat.* Paris 1818.

dicht ist, pflegt jeder Stein nur mit einer Kante oder Ecke sich auf den darunter befindlichen zu stützen, und es würden deshalb die kleineren Stücke, die man zusetzen wollte, leicht die Fugen noch mehr vergrössern; man ist daher ziemlich allgemein der Ansicht, dass die Steine möglichst von gleicher Grösse sein müssen und lässt sie daher in der Art zerschlagen, dass ihr grösster Durchmesser etwa 2 Zoll misst. Das Material, woraus die Steinstücken bestehen, ist an sich wohl gleichgültig, wenn es nur den oben erwähnten Bedingungen entspricht; vorzüglich eignet sich ein fester Sandstein dazu, doch auch Granit, Grauwacke und fester Kalk können sehr passend angewendet werden. Vortheilhaft ist es auch, wenn man recht feste Ziegel besonders zu diesem Zwecke brennen und dieselben alsdann in passende Stücke zerschlagen lässt.

Um das Mischungsverhältniss zwischen den Steinen und dem Mörtel zu bestimmen, ist es empfohlen worden, hierbei die wirkliche Grösse der Zwischenräume zwischen den Steinen zu berücksichtigen; man füllt zu diesem Zwecke einen grossen wasserdichten Kasten, dessen cubischen Inhalt man kennt, mit den gehörig benetzten Steinstücken an und beobachtet, wie viel Wasser man hinzugiessen kann, bis dasselbe den Rand des Gefässes erreicht. Der cubische Inhalt dieses Wassers bezeichnet genau die Grösse der vorhandenen Zwischenräume und darnach würde bei dieser Art der Ablagerung eine gleiche Quantität Mörtel auch zur Füllung der Zwischenräume genügen. Man darf dabei aber nicht vergessen, dass in dem fertigen Béton die Steine durch den Mörtel verhindert werden, eine eben so dichte Lage anzunehmen wie früher, und sonach sind die Zwischenräume wirklich bedeutend grösser und es muss deshalb noch ein Zusatz an Mörtel gegeben werden. Die Mischungsverhältnisse, die man wirklich dargestellt hat, sind nicht ganz übereinstimmend; bei den Bétonfundirungen zu den Schleusen an der Ruhr nahm man auf 12 Cubikfuss zerschlagene Steine 6 Cubikfuss fertigen Mörtel und erhielt daraus 13 Cubikfuss Béton. Hiernach gehören zu 100 Cubikfuss Béton 92 Cubikfuss Steine und 46 Cubikfuss Mörtel. Es stimmt damit noch ziemlich genau das Verhältniss überein, das man beim Schleusenbau zu Saint-Valery an der Somme wählte, man nahm daselbst nämlich zum Cubikmeter Béton 0,87 Cubikmeter

Steine und 0,45 Cubikmeter Mörtel. Bei den Schleusen am Rhein-Rhone-Canal rechnete man dagegen auf den Cubikmeter Béton nur 0,69 Steinbrocken und die zugehörige Quantität Mörtel war aus 0,22 gelöschtem Kalk und 0,40 Sand zusammengesetzt. Bei den Bauten in London hat man die Gewohnheit, die Steine und den Sand gar nicht zu trennen, sondern Beides zusammen, wie es als Ballast aus der Themse gebaggert wird, dem Kalke zuzusetzen, und es ist merkwürdig, dass durch die Beimischung des Kalkteiges das Volum des Ballastes vermindert wird; dieses erklärt sich dadurch, dass der Sand hierbei in eine mehr geschlossene Lage versetzt wird. 27 Cubikfuss Ballast, die mit 3 Cubikfuss gelöschtem Kalke und 4 Cubikfuss Wasser verbunden werden, geben nur 24 Cubikfuss Béton; die 27 Cubikfuss Ballast bestehen aber aus 23 Cubikfuss Geschiebe und $11\frac{1}{2}$ Cubikfuss Sand *); zu 100 Cubikfuss Béton werden also gebraucht 96 Cubikfuss Geschiebe, 48 Cubikfuss Sand, oder zusammen 112 Cubikfuss Ballast, ferner $12\frac{1}{2}$ Cubikfuss Kalk und 16 Cubikfuss Wasser.

Die gehörige Vermengung des Mörtels mit den Steinstücken, wodurch eben der Béton entsteht, wird dadurch mühsam, dass der Mörtel nicht viel Wasser enthalten darf, oder er recht steif sein muss, wenn er schnell erhärten und den hinreichenden Grad von Festigkeit annehmen soll. Aus diesem Grunde ist ein kräftiges und anhaltendes Durcharbeiten der Masse erforderlich, und dieses muss so lange fortgesetzt werden, bis alle Oberflächen der Steine mit einer Mörtelschicht bedeckt sind. Kleinere Bétonmassen pflegt man immer durch Handarbeit darzustellen, wobei man sich schmaler Rechen bedient, die drei oder vier etwa 6 Zoll lange Zinken haben. Dasselbe Verfahren wird zuweilen auch noch zur Mischung grösserer Massen Béton benutzt, und zwar geschieht dieses folgendermaassen: nachdem die Steine stark benetzt worden, so breitet man jedesmal 6 bis 12 Cubikfuss derselben auf einem Dielenboden regelmässig aus, so dass sie etwa eine 6 Zoll hohe Schicht bilden. Nunmehr setzt man den Mörtel in kleinen Quantitäten hinzu und wirft ihn jedesmal so hoch,

*) *Nature and properties of concrete by G. Godwin*, in den *Transactions of the Institute of British Architects. Vol. I. Part. I.* London 1836.

dass er wenigstens 3 bis 4 Fuss herabfällt; er dringt alsdann gleich in die Zwischenräume zwischen den Steinen ein und haftet schon an einem grossen Theile ihrer Oberfläche. Um die Berührung zu vervollständigen, so bearbeitet man hierauf noch die Masse mit dem erwähnten Rechen so lange, bis man sicher ist, dass alle Oberflächen mit Mörtel bedeckt sind. Eine andere Methode zur Darstellung des Bétons besteht darin, dass man wieder zuerst den Mörtel auf die Steine wirft und alsdann mit einem Spaten vom Boden einzelne Theile der Masse absticht und selbige mit Heftigkeit auf den Haufen zurückwirft.

Man bedient sich zuweilen auch besonderer Bétonmaschinen, was z. B. bei den Schleusenbauten an der Ruhr geschehen ist; die Maschine besteht daselbst aus einer achtseitigen prismatischen Trommel aus Holz, welche an der durchgehenden eisernen Axe befestigt ist und sich mit ihr umdrehen lässt. Diese Axe liegt horizontal und erhält ihre Bewegung durch eine Dampfmaschine; sobald aber die Drehung eintritt, so wird der in der Trommel befindliche Béton immer gehoben und stürzt in derselben Art zurück, als wenn man ihn mit dem Spaten aufwirft. Die Trommel ist 6 Fuss lang und 3 Fuss weit, sie macht in der Minute etwa 9 Umdrehungen. Die eine von den langen Seiten der Trommel besteht in einer Klappe, die sich öffnen lässt; durch diese schüttet man von oben die 12 Cubikfuss Steine und 6 Cubikfuss Mörtel hinein. Nach 18 Minuten ist die Durcharbeitung vollständig erfolgt und man leert alsdann die Trommel wieder durch dieselbe Klappe, durch welche die Füllung geschah, indem die Maschine angehalten wird, während die Klappe sich unten befindet. Bei Anwendung dieser Maschine verlieren die Steinstücke keineswegs ihre scharfen Ecken, wie man dieses zuweilen besorgt; denn der Mörtel mässigt jederzeit den Stoss so sehr, dass kein Abbrechen erfolgen kann und dieses giebt sich ebensowohl aus dem dumpfen Tone beim Herabfallen der Masse zu erkennen, wie aus der spätern Untersuchung des Bétons.

Nachdem der Béton dargestellt ist, so kommt es darauf an, ihn auf die Sohle der Baugrube zu versenken. Dabei tritt die wesentliche Bedingung ein, dass der noch weiche Béton möglichst wenig mit dem Wasser in Berührung kommen und am wenigsten von einem heftigen Strome getroffen werden darf, denn ein solcher

würde sogleich die Kalktheilchen des Mörtels ausspühlen und sonach ein späteres Erhärten der Masse unmöglich machen. Es muss also dafür gesorgt werden, dass das Wasser in der Baugrube sich im Zustande der Ruhe befindet, und wenn die Baugrube im Flusse selbst liegt, so muss ein leichter Fangedamm sie umgeben, der, wenn er auch nicht wasserdicht ist, doch wenigstens das heftige Durchströmen des Wassers verhindert; wenn dagegen die Baustelle durch feste Ufer oder durch dichte Fangedämme eingeschlossen ist, so darf während des Versenkens des Bétons und bis zur vollständigen Erhärtung desselben der Wasserspiegel nicht künstlich gesenkt werden, weil in diesem Falle die Quellen durch den Boden und sonach durch den eben ausgebreiteten Béton hindurchdringen und ihn stellenweise ausspühlen würden, so dass er daselbst weder erhärten, noch auch eine wasserdichte Schicht darstellen könnte. Ein ähnlicher Uebelstand tritt indessen auch ein, wenn man den Béton durch das Wasser frei herabfallen lässt, wobei ganz in derselben Art, als wenn das Wasser über den Béton hinströmt, wieder der Kalk ausgespühlt wird, und es entsteht dabei noch die Gefahr, dass die Steinstücke beim Herabstürzen einen geringeren Widerstand, als der specifisch leichtere Mörtel, im Wasser erfahren und hierdurch eine Trennung beider Materialien erfolgt. Ein freies Herabschütten des Bétons durch das Wasser ist sonach ganz unzulässig, aber wohl kann man ihn durch einen Trichter versenken, der bis zur Oberfläche der darzustellenden Schicht herabreicht, und andererseits kann man die Versenkung auch in Kasten bewirken, die langsam herabgelassen, und wenn sie dicht über dem Boden schweben, umgekehrt oder auf andere Art geleert werden.

Wenn der Béton in Trichtern versenkt wird, so müssen diese auf einer festen Rüstung aufgestellt sein und bis zur Oberfläche der zu bildenden Schicht herabreichen; schüttet man alsdann den Béton hinein, so wird derselbe in ähnlicher Art, wie eine Sandschüttung, keineswegs sich seitwärts über die ganze Baugrube verbreiten, sondern vielmehr nur unter dem Trichter eine abgestutzte Pyramide bilden, deren obere Grundfläche mit der untern Oeffnung des Trichters übereinstimmt und deren Seitenflächen der Böschung entsprechen, welche der Béton unter Wasser annimmt. Hat der so begrenzte Körper sich gebildet, so hört das weitere

Ausfliessen des Bétons aus dem Trichter auf, und nur wenn letzterer verschoben wird, so stellt sich aufs Neue eine Anschüttung dar und dehnt den pyramidalen Körper in derjenigen Richtung weiter aus, wohin der Trichter verschoben wurde. Auf solche Art lässt sich durch das Verfahren des Trichters auf einer Bahn ein ganzer Streifen Béton quer über die Baugrube darstellen, und wenn man hierauf wieder die ganze Bahn so weit seitwärts schiebt, dass die untere Mündung des Trichters vor der Oberfläche des bereits dargestellten Streifens vortritt, und man lässt nunmehr wieder den Trichter langsam sich über die Bahn bewegen, so legt sich ein zweiter Streifen neben den ersten und auf diese Art kann man die ganze Sohle der Baugrube nach und nach bedecken oder die beabsichtigte Schicht regelmässig darstellen. Man giebt indessen einer solchen auf einmal dargestellten Schicht gewöhnlich nicht die ganze Stärke, welche das Bétonbette überhaupt haben soll, sondern nur etwa die Hälfte oder den dritten Theil derselben, und sonach müssen noch andere Schichten in gleicher Art darüber gelegt werden. Dabei ist jedoch die Vorsicht zu beachten, dass die obern Schichten so angeordnet werden müssen, dass eine Art von Verband zwischen den einzelnen Streifen entsteht; es bildet sich nämlich zwischen je zwei neben einander liegenden Streifen eine Fuge, welche das Wasser wenigstens viel leichter durchlässt, als der Körper der Streifen selbst. Am besten möchte es sein, die Streifen in den verschiedenen Schichten in kreuzweiser Richtung anzubringen, was in Frankreich auch wirklich geschieht.

Wenn die Baustelle keine grosse Breite hat, so kann man die erwähnten Bahnen leicht darüber legen, und wenn es nöthig sein sollte, durch Verstrebungen das Durchbiegen derselben verhindern; der Trichter ruht aber auf einem Wagen und lässt sich sonach sehr leicht in der Richtung der Bahn bewegen, wodurch die horizontale Ausgleichung der Oberfläche des Bétons bedingt wird. Ist dagegen die Breite der Baugrube so bedeutend, dass die Bahnen sich nicht mehr gegen ein starkes Einbiegen unter dem schweren Trichter gehörig sichern lassen, ohne ihre Beweglichkeit zu verlieren, so muss man den Trichter schon auf Fahrzeuge setzen, die in der Baugrube schwimmen. Eine Einrichtung dieser Art war bei der bereits erwähnten Fundirung der

Schleuse zu Saint-Valery an der Somme getroffen *), und Fig 256 *a* und *b* zeigt die daselbst gewählte Aufstellung der Trichter in den Ansichten von der Seite und von vorn und zum Theil auch im Durchschnitte. Es trat hierbei die Schwierigkeit ein, den Trichter immer in gleicher Höhe zu erhalten, da eines Theils der Wasserstand in der Baugrube nicht constant war und hauptsächlich auch die Fahrzeuge bald mehr und bald weniger tief eintauchten, jenachdem sie gerade durch den aufgeschütteten Béton schwerer oder leichter belastet wurden. Um diese Abweichungen auszugleichen, brachte man an beiden Seiten zehn grosse Tonnen an, die auf dem Wasser schwammen und die man mittelst langer Winkelhebel herabdrücken konnte; geschah dieses, so trugen dieselben einen Theil von der Belastung und die Fahrzeuge hoben sich, und sonach war es möglich, durch das angemessene Anziehen der Hebelarme die Fahrzeuge mit dem Trichter immer in die ursprüngliche Höhe zu bringen. Mittelst dieser Vorrichtung konnte man indessen nicht bis dicht an den Rand der Baugrube gelangen, und um auch hier den Béton zu versenken, so legte man die Rüstung, welche den Trichter trug, an einer Seite auf ein Fahrzeug und an der andern auf einen Wagen, der auf einer Bahn sich längs dem Ufer bewegte.

Bei den Trichtern ist zu bemerken, dass sie immer bis über die Oberfläche des Wassers in der Baugrube mit Béton angefüllt bleiben müssen, damit einestheils der gehörige Druck auf den eben versenkten Béton ausgeübt wird und anderntheils auch das Material, während es in die Trichter geschüttet wird, nicht durch das Wasser hindurchfällt. An der untern Mündung des Trichters bemerkt man in der Figur noch zwei Walzen, diese dienen dazu, den frisch versenkten Béton zu comprimiren und zu ebenen, und zwar kommt bei der abwechselnden Bewegung des Trichters nach der einen und der andern Seite jedesmal diejenige Walze in Wirksamkeit, welche dem Trichter folgt. In andern Fällen hat man die Weite des Trichters viel geringer, als die Figur nachweist, angenommen, doch pflegt sich alsdann bald der Uebelstand zu zeigen, dass der Béton stark an den Seitenwänden haftet und dass er namentlich, wenn die Arbeit unterbrochen worden ist,

*) *Annales des ponts et chaussées.* 1832. *I. p.* 52.

nicht mehr frei herabsinkt und überhaupt der Druck gegen die Schüttung sich merklich vermindert. Zur Beseitigung dieser Uebelstände hat man dem Trichter andererseits oben und unten eine gleiche Weite oder eine ganz prismatische Form gegeben, was bei dem Schleusenbau in Duisburg geschieht.

Bei der Versenkung des Bétons in Trichtern tritt immer der grosse Uebelstand ein, dass der Béton in sehr vielfache Berührung mit dem Wasser kommt und dadurch der Kalk aus dem Mörtel viel stärker ausgewaschen wird, als bei der andern Methode. Wenn man nämlich die Trichter immer bis über Wasser gefüllt erhält, was in anderer Beziehung nothwendig ist, so kann man ihn nur langsam vorrücken lassen, und zwar ist die Bewegung, die er auf einmal erhalten darf, um so geringer, je weniger er sich nach oben zu erweitert; sobald er aber um einige Zolle auf der Bahn oder mit den Schiffen verschoben wird, so legt sich eine dünne Bétonschicht auf dem pyramidalen Bétonkörper unter dem Trichter an derjenigen Seite an, wohin die Bewegung erfolgt. Diese Schicht wird auf ihrer ganzen freien Oberfläche von dem Wasser berührt und der Mörtel darin kann leicht erweichen und einen Theil des Kalkgehaltes verlieren. Indem nun aber die einzelnen Streifen und die ganzen Lagen des Bétons sich nur aus solchen dünnen Schichten zusammensetzen, von denen jede einzelne bei ihrer Bildung mit dem Wasser in starke Berührung trat; so wiederholt sich der erwähnte Uebelstand fortwährend bei der Versenkung des ganzen Bétonbettes, und die Erfahrung zeigt auch wirklich, dass hierbei sehr grosse Kalkmassen ausgespühlt werden. Beim Bau der Schleuse in Ruhrort, woselbst der Béton in Trichtern versenkt war und das Bétonbette die Stärke von 3½ Fuss erhalten hatte, lagerte sich darüber ein dicker Schlamm, der nach der Entfernung des Wassers 5 bis 6 Zoll hoch den Boden bedeckte; im getrockneten Zustande spaltete er in kleine Stückchen und war so leicht, dass er nur langsam im Wasser zu Boden sank, wobei er jedoch sehr schnell zerfiel. Es war grossentheils Kalk, der nur aus dem Mörtel ausgespühlt sein konnte. Um die Berührung des ausfliessenden Bétons mit dem Wasser zu verhindern, machte Mary den Vorschlag, den Trichter an seiner untern Mündung noch mit zwei geneigten Flächen zu versehen, welche die Dossirungen sowohl an der Seite, als auch in der Richtung, wohin

der Trichter sich bewegt, bedecken.*) Magdelaine hat beim Bau der Schleuse zu Saint-Valery hiervon auch Gebrauch gemacht, obwohl in der vorerwähnten Beschreibung dieses nicht angeführt wird. Man darf wohl bezweifeln, dass hierdurch das Auswaschen wirklich verhindert wird, indem das Wasser wahrscheinlich bei der Bewegung des Trichters mit Heftigkeit hinter den Boden strömt und dadurch eben so nachtheilig einwirkt; jedenfalls wird der Apparat aber durch diese Klappen viel unbequemer, und der Trichter muss jedesmal ausgehoben und verändert werden, wenn man ihn in entgegengesetzter Richtung bewegen will. Die erwähnte Verbreitung des Bétons in dünne Schichten hat auch noch eine andere üble Folge, es wird dabei nämlich eine Trennung des Mörtels von den Steinen sehr leicht möglich, indem die letzteren wegen ihres grösseren specifischen Gewichtes leichter herabrollen, als der Mörtel ihnen folgen kann; auch hiervon kann man sich bei Bétonschüttungen, die mit dem Trichter ausgeführt sind, überzeugen, indem stellenweise die Zwischenräume zwischen den Steinen gar nicht mit Mörtel gefüllt sind. Endlich muss auch noch auf den Nachtheil aufmerksam gemacht werden, den die Trichter verursachen, sobald die Arbeit unterbrochen wird; man kann alsdann entweder den Trichter angefüllt stehen lassen, oder aber man schiebt ihn so weit vor, dass er sich vollständig leert. Im ersten Falle erhärtet der darin befindliche Mörtel, wenn er gehörig steif war, schon während einer Nacht so stark, dass er am folgenden Tage nicht mehr von selbst ausfliesst. Man kann ihn zwar leicht noch herabstossen, oder auch während der Nacht durch den Wächter den Trichter einigemale etwas vorrücken lassen und dadurch das starke Anhaften gegen die Wand verhindern; es wird indessen auf solche Art keineswegs dem grössten Uebelstande vorgebeugt, dass nämlich die Bétonmasse schon etwas erhärtet herabkommt und sie sonach nicht mehr eine innig zusammenhängende Masse bilden kann. Wenn man dagegen am Abende den Trichter ganz entleert, so füllt er sich mit Wasser an, und wenn man am Morgen den Béton hineinschüttet, so stürzt derselbe durch das im Trichter befindliche Wasser hindurch. Die letzte Anordnung möchte immer noch den Vorzug verdienen,

*) *Annales des ponts et chaussées.* 1832. *I. p.* 81.

und man kann auch zur ersten Füllung jedesmal noch besondere Kasten anwenden, worin der Béton herabgelassen wird.

Zum Versenken des Bétons in Kasten hat man verschiedene Anordnungen angewendet; ich werde hier diejenige beschreiben, die Beaudemoulin beim Bau der Schleuse in Hüningen wählte *) und die auch vor zwei Jahren beim Bau der grossen Ill-Schleuse bei Strassburg angewendet wurde. In der Baugrube schwamm eine Rüstung, die aus mehreren Gängen bestand, welche zwischen sich vier schmale Oeffnungen liessen, die ohne Unterbrechung sich über die ganze Breite des mit Béton zu bedeckenden Raumes erstreckten. In den ersten beiden Oeffnungen wurde der Schlamm, der sich auf dem Boden der Baugrube bildete, theils ausgehoben und theils durch eine Art von Besen an die Seite geschafft; ein besonderer Graben war zur Aufnahme desselben ausgebaggert. In der dritten und vierten Oeffnung geschah endlich die Versenkung des Bétons. Den hierzu dienenden Apparat zeigt Fig. 257 *a* und *b*. Eine leichte Rüstung mit einer Winde wird nämlich auf zwei der erwähnten Gänge des Flosses so gestellt, dass sie frei über der Oeffnung steht, und mittelst der Winde kann der Kasten herabgelassen werden, der jedesmal mit einem Zehntel Cubikmeter oder 3¼ Cubikfuss Béton angefüllt wird. Ist diese Füllung geschehen, so werden die beiden untergelegten Bäume, welche bisher den Kasten trugen, herausgezogen, und mittelst der Winde lässt man den Kasten so weit langsam herab, bis er auf der Sohle der Baugrube, oder auf dem schon früher versenkten Béton aufsteht. Nunmehr dreht man die Winde um einen Quadranten zurück, was sich aus der Stellung der Arme leicht beurtheilen lässt; alsdann schwebt der Kasten etwa 4 Zoll über dem Boden, und es ist Raum genug vorhanden, ihn um seine Axe zu drehen. Das Letzte geschieht mittelst der Leine, die Fig. 257 *b* angedeutet ist, und dadurch erfolgt die Leerung des Kastens. Bei der nächsten Versenkung wird die Winde um die Länge des Kastens verschoben und sonach bildet sich unter der Oeffnung im Flosse ein ähnlicher Streifen, wie bei der Anwendung des Trichters. Auf solche Art wird gleichzeitig über beiden Oeffnungen des Flosses

*) *Recherches théoriques et pratiques sur la fondation par immersion des ouvrages hydrauliques par Beaudemoulin.* Paris 1829.

die Versenkung vorgenommen, und indem jedesmal nach Beendigung beider Streifen das Floss selbst verfahren wird, so legt man auch hier ganz übereinstimmend mit dem früher beschriebenen Verfahren einen Streifen an den andern und bildet dadurch die Schichten. Der Vortheil besteht hierbei darin, dass die Bétonmasse viel mehr im Zusammenhange bleibt und verhältnissmässig immer nur in einer viel kleineren Oberfläche mit dem Wasser in Berührung gebracht wird.

Bei dem Versenken des Bétons in Kasten werden die einzelnen Schichten keineswegs glatt abgestrichen, wie dieses durch den Rand des Trichters oder durch die daselbst angebrachte Walze geschah; es muss also noch das Ausebnen der Oberfläche besonders vorgenommen werden, und zwar geschieht dieses mittelst einer gusseisernen Platte, die an einem Stiele befestigt ist und die man bis zu einer Marke am Stiele herabzudrücken sucht. Diese Operation kann nur bei der obern Schicht von Nutzen sein, sie muss aber gleich nach dem Versenken des Bétons, also während derselbe noch weich ist, bewirkt werden, und es darf durchaus kein förmliches Stampfen erfolgen, wodurch das Wasser in starke Bewegung gesetzt würde, sondern es ist nur ein sanftes Herabdrücken zulässig. Auf eine vollständige Ausebnung der Oberfläche kommt es überdies gar nicht an, da das Bétonbette jedesmal noch übermauert wird.

Um das ganze Verfahren bei der Bétonfundirung zu beschreiben, wähle ich zuerst den Fall, dass der Baugrund aus Sand oder Kies besteht, und setze voraus, dass sich sehr starke Quellen in demselben bilden würden, wenn man die Fundirung in gewöhnlicher Art vornehmen und das Wasser ausschöpfen wollte. Diese Quellen lockern aber den Sand auf und vermindern daher die Tragfähigkeit des Bodens; es dürfen daher die Pumpen nicht früher in Thätigkeit gesetzt werden, als bis man den Béton aufgebracht und eben dadurch eine Auflockerung des Grundes unmöglich gemacht hat. Es muss sonach das Grundwasser Anfangs gar nicht gesenkt und daher die Baugrube unter Wasser ausgehoben werden. Man gräbt nämlich den Boden bis zu derjenigen Tiefe aus, die man ohne Anwendung von Schöpfmaschinen noch erreichen kann, und dieses ist gewöhnlich nur etwa 6 Zoll oder 1 Fuss unter dem natürlichen Wasserstande. Alsdann müssen

Baggermaschinen aufgestellt werden, die so eingerichtet sind, dass man mit ihnen die Vertiefung weit genug herabtreiben kann. Die nähere Beschreibung dieser Maschinen soll später gegeben werden, hier ist nur zu bemerken, dass man durch sie auch eine recht ebene Fläche darstellen kann, die wenigstens keine Erhebungen zeigt, die grösser als etwa 3 Zoll sind. Man könnte in ähnlicher Art, wie dieses §. 44 bei Gelegenheit des Brückenbaues zu Moulins beschrieben ist, auch durch Abstreichen eine noch vollständigere Einebnung hervorbringen, auch würde, falls das Wasser sehr trübe ist und sonach ein starkes Absetzen von Schlamm befürchtet werden muss, eine Ueberschüttung mit grobem Kies vortheilhaft sein, wozwischen der Schlamm sich lagern kann, ohne den Béton zu verunreinigen; es ist dieses Verfahren bei der Fundirung der Eingangsschleuse in den Canal St. Martin wirklich in Anwendung gekommen. *)

Die auf solche Art dargestellte Baugrube muss in ihrer Sohle diejenige Ausdehnung haben, welche man für die Fundirung bestimmt hat, und in den Seiten muss sich überall die erforderliche Dossirung vorfinden, damit kein Einstürzen der Ufer zu besorgen ist. Nunmehr umgiebt man die Sohle der Baugrube von allen Seiten mit einer Spundwand, so dass durch die Richtung derselben die Grösse und Form des Bétonbettes sich bestimmt. Die Spundwand wird mit Holmen versehen, die nothwendig über Wasser treffen müssen, und alsdann füllt man den Raum zwischen der Spundwand und den dossirten Ufern mit einer Erde an, die sich zu Fangedämmen eignet und stampft dieselbe auch fest, wodurch für den spätern Bau der Zudrang des Wassers von der Seite her sehr gemässigt wird und zwar um so mehr, je tiefer die Spundpfähle hinterfüllt sind. Die Baugrube ist sonach rings umher bis zu den Holmen der Spundwände zugänglich gemacht, und auf diesen Holmen kann man die etwa nöthigen Verstrebungen und die Rüstungen zum Versenken des Bétons aufbringen, sowie auch die Bahn des Trichters unmittelbar darauf liegt. Es muss bemerkt werden, dass man zuweilen die Spundwand schon früher einrammt, ehe die Baggerung bis zur vollen Tiefe herabgeführt ist; man erreicht dadurch den Vortheil, dass die Baggerung und

*) *Annales des ponts et chaussées.* 1832. *I. p.* 87.

überhaupt die Erdarbeiten eine etwas geringere Ausdehnung erhalten, denn derjenige Theil der Austiefung, der später zwischen den Spundwänden vorgenommen wird, darf keine Seitendossirung erhalten, und sonach verringert sich die Oberfläche der Baugrube, auch lässt sich die Baggermaschine gewöhnlich sehr bequem auf dieselbe Rüstung stellen, die später zum Versenken des Bétons dient; dagegen tritt bei diesem Verfahren der Uebelstand ein, dass das Einrammen der Spundwand wegen der grösseren Tiefe, zu der die einzelnen Pfähle herabgetrieben werden müssen, sehr erschwert wird, was gemeinhin noch grössere Kosten verursacht, und es lässt sich auch der Zudrang des Wassers von der Seite her nicht so sicher vermeiden, als wenn die Ausbaggerung zuerst vollständig bewirkt war und folglich die Anschüttung dahinter tiefer herabreicht.

Die Versenkung des Bétons erfolgt, wie solche bereits beschrieben ist; doch muss noch besonders darauf aufmerksam gemacht werden, dass in dieser Zeit durchaus kein Hervortreten der Quellen in die Baugrube und namentlich von unten her veranlasst werden darf, denn wenn dieses geschieht, so zieht sich das Wasser durch die noch weiche Bétonschüttung hindurch und reisst stellenweise den Kalk, auch wohl den Sand mit sich und bildet dadurch undichte Stellen. In manchen Fällen kann man einige Bewegung des Wassers nicht vermeiden, und namentlich findet dieses zuweilen bei Schleusenbauten in der Nähe eines Flusses statt, wo die Baugrube durch unterirdische Adern theils mit dem Oberwasser und theils mit dem Unterwasser des Flusses in Verbindung steht und sonach fortwährend das Wasser von der einen Seite in sie hinein- und von der andern herausfliesst. Wenn dieses geschieht und man diese Bewegung nicht hindern kann, so sind immer noch die niederwärts gerichteten Strömungen weniger nachtheilig, als die aufsteigenden, denn die ersten können den Mörtel nicht fortführen, während die letzten dieses thun, und dadurch freie Wasserzüge im Béton bilden. Aus diesem Grunde ist es in solchem Falle am passendsten, die Baugrube in eine ganz offene Verbindung mit dem Oberwasser zu setzen und dadurch den Wasserstand in ihr möglichst hoch zu halten.

Die S t ä r k e, die man dem Bétonbette giebt, richtet sich nicht sowohl nach dem Gewichte des fertigen Gebäudes, welches

darauf gebaut werden soll, als vielmehr nach dem Drucke, den die Quellen verursachen, die bei der Trockenlegung der Baugrube von unten gegen die Fundirung wirken. Der Béton ist jedesmal viel kostbarer als anderes Mauerwerk; man wird daher immer bemüht sein, ihn möglichst wenig stark zu machen, aber der erwähnte Druck kann ihn leicht heben und zerbrechen und dadurch seinen Zweck gänzlich vereiteln. Man pflegt bei allen Schleusenbauten, wenn deren ganze Breite auch nur einige 20 Fuss beträgt, dem Bétonbette mindestens die Stärke von 3 Fuss zu geben, bei einer grösseren Breite genügt dieses aber nicht mehr; bei der St. Katharine's-Dock-Schleuse, wo die Breite der Baugrube 68 Fuss maass, hatte das Bétonbette sogar die Stärke von 7 Fuss.

Es kommt hierbei indessen nicht allein die Ausdehnung der Baugrube in Betracht, sondern auch der Druck, unter welchem die Quellen wirken, und man wird wohlthun, das Bétonbette so stark zu machen, dass es durch sein Gewicht diesen Druck aufhebt. Häufig geschieht es, dass man auf das Bétonbette selbst Fangedämme stellt, deren Anordnung und Construction im Folgenden beschrieben werden soll; diese tragen zur Vermehrung des Gewichtes wesentlich bei, aber wenn sie auch ein gleichmässiges Aufheben der Fundirung verhindern, so können sie wieder durch die ungleichmässige Vertheilung der Belastung Veranlassung geben, dass das Bétonbette in der Mitte, wo es nicht belastet ist, zerbricht, wie dieses mehrmals vorgekommen ist. Man muss also der Fundirung eine solche Stärke geben, dass sie vermöge ihrer respectiven Festigkeit diesem Bruche mit Sicherheit widerstehen kann und zwar in jedem einzelnen Querschnitte. Um hiernach die erforderliche Stärke des Bétonbettes zu bestimmen, ist es nöthig, das specifische Gewicht und die Festigkeit des Bétons zu kennen. Das erste hängt von dem dazu verwendeten Material ab und ein Mittelwerth dafür dürfte sich etwa auf 1,5 stellen. Ich fand, dass der Cubikfuss Béton, der aus gebrannten Steinen und Trassmörtel bereitet war, im frischen Zustande 105 und ganz ausgetrocknet 92 Pfund wog; wenn man aber Sandstein oder Granit dazu benutzt, so wird er gleich bedeutend schwerer und übersteigt das Doppelte des Gewichtes vom Wasser.

Was die respective Festigkeit des Bétons betrifft, so kann man solche mit hinreichender Genauigkeit aus der absoluten Festigkeit

herleiten; letztere beträgt bei gutem hydraulischem Mörtel häufig 400 bis 500 Pfunde auf den Quadratzoll. Einige Prismen aus mittelmässig gutem Trassmörtel von 2 bis 4 Quadratzoll Querschnitt, die ich einst untersuchte, nachdem sie während 3 bis 4 Monaten unter Wasser gelegen hatten, zeigten eine absolute Festigkeit, die auf den einzelnen Quadratzoll Querschnitt zwischen 60 bis 100 Pfund betrug. Für die grossen Mörtelmassen, die bei Bétonfundirungen versenkt werden, darf man wegen der mancherlei Zufälligkeiten, die hierbei eintreten können, das Maass der Festigkeit im Allgemeinen nicht zu gross annehmen; wenn man aber, um ganz sicher zu sein, dieses so geringe setzen wollte, wie einzelne Versuche es ergeben, so würde daraus die Nothwendigkeit einer ganz ungewöhnlichen Mächtigkeit des Bétonbettes folgen, die nach der Erfahrung gar nicht nöthig ist. Hierbei kommt auch noch der Umstand in Betracht, dass die umgebende Erde und diejenigen Theile des Fangedammes, welche an beiden schmalen Seiten die Baugrube einschliessen, wesentlich zur Verhinderung eines Bruches beitragen, während in der nachstehend angegebenen Berechnung die Bedingung für das Gleichgewicht in jedem einzelnen Querschnitte, also ohne Rücksicht auf diese günstigen Umstände, hergeleitet ist. Man darf deshalb wohl die Festigkeit des Bétons, wenn er mit der nöthigen Sorgfalt bereitet und versenkt ist, zu 100 Pfund auf den Quadratzoll Querschnitt annehmen.

Ich setze nun voraus, dass an beiden langen Seiten der Baugrube auf dem Bétonbette Fangedämme aus Béton aufgeführt sind, welche das Aufschwimmen des ganzen Bettes durch ihr Gewicht verhindern, dass sie aber einem Bruche in der Mitte des Bettes gar nicht entgegenwirken, sondern in diesem Falle leicht eine drehende Bewegung annehmen, ohne die Höhenlage ihres Schwerpunktes zu verändern. Hiernach bestimmt sich die Kraft, welche auf den Bruch hinwirkt durch den Druck des Wassers gegen denjenigen Theil des Bétonbettes, welcher zwischen den Fangedämmen liegt, und diesem Drucke wirkt sowohl das Gewicht von eben diesem Theile des Bétonbettes als dessen rückwirkende Festigkeit entgegen. Bezeichnet man nun mit

b die Breite des Bétonbettes zwischen den Fangedämmen,

e die Dicke desselben,

h die Höhe des Wasserstandes über dem Bétonbette,

m die absolute Festigkeit des Bétons in Pfunden und zwar für die angenommene Maasseinheit, nämlich den Quadratfuss,
γ das Gewicht eines Cubikfusses Wasser und mit
$p\gamma$ das Gewicht eines Cubikfusses Béton;

so ist für den am meisten zu besorgenden Bruch, nämlich in der Mittellinie der Fundirung, das Moment des Wasserdruckes gegen den halben Boden des Bétonbettes und zwar für einen Abschnitt desselben von 1 Fuss Breite

$$\tfrac{1}{2} b (h + e) \gamma . \tfrac{1}{4} b$$

und das Moment vom Gewichte des Bétonbettes

$$\tfrac{1}{2} b e p \gamma . \tfrac{1}{4} b$$

sowie das Moment der respectiven Festigkeit

$$e m . \tfrac{1}{6} e$$

Die Bedingung des Gleichgewichtes ist also

$$\tfrac{1}{8} b^2 \gamma (h + e) = \tfrac{1}{8} b^2 e p \gamma + \tfrac{1}{6} e^2 m$$

und es lässt sich durch Auflösung dieser Gleichung der Werth von e bestimmen.

Bei der Schleuse in Ruhrort war

$$b = 29 \text{ Fuss}$$
$$e = 3{,}5 \text{ Fuss}$$

und setzt man für diesen Fall

$$p = 1{,}5$$
$$m = 14400 \text{ Pfund und}$$
$$\gamma = 66 \text{ Pfund,}$$

so folgt

$$h = 10{,}2 \text{ Fuss}$$

oder das Bétonbette von dieser Breite und Stärke kann so eben noch dem Drucke widerstehen, wenn das Grundwasser etwas mehr als 10 Fuss sich über die Oberfläche des Bétons erhebt. Dieses war in der That auch der Fall gewesen, als aber beim Anschwellen der Ruhr das Wasser einige Fuss höher stieg und man die Baugrube noch immer trocken erhalten wollte, so brach die Bettung, die ausserdem viele undichte Stellen zeigte, der Länge nach auf. Um dem Drucke eines Wasserstandes von 15 Fuss über der Oberfläche widerstehen zu können, hätte das Bétonbette nach der vorstehenden Formel die Stärke von $4\frac{1}{2}$ Fuss haben müssen.

Das Bétonbette sichert die Baugrube nur gegen den Wasserzudrang von unten; von der Seite halten zwar die Spundwände

und die Erdschüttung dahinter einigermaassen das Wasser ab, doch treten daselbst zuweilen noch sehr starke Quellen hervor, welche die Ausführung des Baues verhindern oder sehr erschweren können. In diesem Falle führt man häufig, wie bereits erwähnt worden, rings um die Baugrube noch Fangedämme von Béton auf, welche auf dem Bétonbette stehen und mit demselben eine zusammenhängende Masse bilden. Die Darstellung dieser Fangedämme bietet keine Schwierigkeit, sobald man nur die Umschliessung für sie auf der innern Seite, oder über dem Bétonbette gebildet hat. Zu diesem Zwecke stösst man zuweilen Pfähle, die mit scharfen Schuhen versehen sind, in den Béton ein und lehnt dagegen die Tafeln, welche die umschliessende Wand bilden sollen; dieses Verfahren ist jedoch nicht zu empfehlen, indem die Fundirung dadurch leicht beschädigt werden kann, und es verdient diejenige Methode den Vorzug, die Beaudemoulin wählte und welche sich aus Fig. 258 ergiebt. Es werden dabei immer zwei gegenüberstehende Stiele unter sich zu einem Rahmen zusammengesetzt und gehörig verstrebt, oder durch Spannriegel gehalten, so dass sie gegenseitig sich ihre Stellung sichern. Diese Rahmen werden über Wasser vollständig verbunden und alsdann aufgestellt; gegen die Stiele lehnt man hierauf die gehörig vorbereiteten Tafeln und nagelt selbige oben fest. Dabei muss noch bemerkt werden, dass die blosse Verstrebung bei der Versenkung des Bétons leicht ein Aufbiegen des obern Balkens verursacht, und es ist daher vortheilhaft, die Spannriegel zwischen den untern Enden der Stiele noch anzubringen. Die Schüttung des Bétons für die Fangedämme geschieht in derselben Art, wie dieses für das Bette beschrieben ist.

Indem die Bétonfangedämme aus einer Masse bestehen, welche an Tragfähigkeit dem Mauerwerk gewöhnlich gleich kommt, so können sie sehr wohl als Theile der Schleusenwände oder der sonstigen Mauern benutzt werden; sie müssen aber, wenn sie auf der innern Seite stark dossirt sind, später noch abgetreppt werden, um ein Abgleiten der dagegen gelehnten und darüber geführten Mauer zu verhindern. Die benannte Figur zeigt durch die punktirten Linien das Profil der fertigen Schleusenmauern, worin die Fangedämme mit eingebunden sind. Bei dieser Construction darf man zwar auf eine innige Verbindung der Mauern mit dem Béton nicht rechnen, und es ist daher nothwendig, die

gesammte Stärke etwas grösser anzunehmen, als dieses bei Anwendung eines gleichmässigen guten Materiales erforderlich gewesen wäre. Es kommt hierbei indessen der günstige Umstand in Betracht, dass der Béton vermöge des stark hydraulischen Mörtels, der dazu benutzt wird, sich wenig setzt und sonach keine Trennung in der Art erfolgt, wie man sonst wohl bemerkt, wenn man zwei Mauern mit einander verbindet, von denen die eine mit viel weiteren Fugen als die andere aufgeführt ist. Bei den besten Cementen und ebenso bei gutem Trassmörtel zeigt sich ganz im Gegensatze zu dem aus fettem Kalke bereiteten Mörtel die eigenthümliche Erscheinung, dass während des Erhärtens eine Ausdehnung erfolgt, was sich bei Anstellung der oben erwähnten Proben häufig durch das Zerspringen der Gläser zu erkennen giebt.

Mittelst dieser Bétonfangedämme lässt sich noch auf eine sehr vortheilhafte Art der Druck des Wassers gegen das Bétonbette vermindern, wodurch es möglich wird, die Stärke des letzteren geringer anzunehmen, als es nach der obigen Untersuchung nöthig erscheint. Auf jeder Baustelle (wenn sie nicht etwa im freien Strome liegt) kann man nämlich das Grundwasser durch die Schöpfmaschinen bis zu einer gewissen Tiefe noch bequem senken, und indem dieses rings um die Bétonfangedämme geschieht, so reducirt man den Wasserdruck, dem das Bétonbette ausgesetzt bleibt, auf die noch vorhandene Druckhöhe. Indem man aber die Bétonfangedämme nur wenig über diese Höhe heraufführt, so halten sie bei einem etwanigen Steigen des Grundwassers in Folge anhaltender Regen, oder wenn die Schöpfmaschinen aus anderem Grunde ausser Thätigkeit gesetzt werden müssen, das Wasser nicht ab, und dieses füllt sogleich die Baugrube und der Druck von unten hört ganz auf. Man bildet auf solche Art eine ä u s s e r e und eine i n n e r e B a u g r u b e; die erstere, welche sich rings um den mit Béton eingeschlossenen Raum erstreckt, wird durch kräftige Schöpfmaschinen, soweit es angeht, und wenigstens bis unter die Krone der Bétonfangedämme trocken gelegt, und die innere Baugrube, die sich innerhalb dieser Fangedämme befindet, darf, wenn sonst bei der Fundirung Alles glückte, nur einen geringen Wasserzudrang haben, der sich mit einigen Handpumpen beseitigen lässt. Dieses Verfahren ist zuerst bei der Schleuse zu Saint-Valery angewendet worden, doch waren die

Fangedämme zu hoch, denn das Bétonbette brach der Länge nach auf, sobald die Schöpfmaschine der äussern Baugrube ausser Thätigkeit gesetzt wurde. *) Es ist hierbei immer nöthig, einen besondern Sammelgraben, sowie auch einen Sumpf für die äussere Schöpfmaschine einzurichten.

Bei Bétonfundirungen ereignet es sich zuweilen, dass an einzelnen Stellen bedeutende Quellen durchtreten; eine Unregelmässigkeit beim Versenken des Bétons, oder ein zu frühzeitiges Auspumpen des Wassers, vielleicht auch eine zu starke Wasserwältigung in späterer Zeit, während die Quellen gerade besonders reichhaltig waren, können hierzu Veranlassung geben. Wenn ein solcher Fall eingetreten ist, so muss eine besondere Vorsicht angewandt werden, um den Zufluss zu sperren und ihn von dem darüber aufzuführenden Mauerwerke abzuhalten. Wollte man eine undichte Stelle im Béton, welche das Wasser stark durchlässt, durch ein darüber versetztes Werkstück oder durch unmittelbare Uebermauerung schliessen, so würde der noch weiche Mörtel in den Fugen dieser Mauer sogleich ausgespühlt werden, und der Quell würde nach und nach, wie man ihn immer von Neuem abzusperren versucht, auch immer weiter durch die Mauer dringen und selbige beschädigen, während sein Austreten in die Baugrube auf solche Art gar nicht gehemmt wird. Man muss sonach, wenn man die undichte Stelle mit Mauerwerk überdecken will, darin künstlich einen Canal bilden, worin das Wasser mit Leichtigkeit abfliessen kann; nur in diesem Falle greift der Quell die Fugen daneben nicht mehr an und der Mörtel in den letzteren kann vollständig erhärten. Ist die Erhärtung erfolgt und tritt das Wasser durch eine gehörig vorgerichtete Ausflussöffnung hervor, so kann man die letztere leicht verschliessen und sonach den Quell sperren. Man hat dieses Mittel häufig in Anwendung gebracht und namentlich hölzerne Röhren zur Ausmündung des Quelles benutzt, die mit vermauert wurden und nach der vollständigen Erhärtung des Mörtels durch einen hölzernen Pfropf verschlossen wurden; es findet dabei aber, wenn man auch die Verschiedenartigkeit des Materiales unbeachtet lässt, noch der Uebelstand statt, dass der Canal im Mauerwerke bleibt, und bei

*) *Annales des ponts et chaussées.* 1832. *I. p.* 75.

einer zufälligen spätern Eröffnung der umgebenden Fugen das Wasser wieder durch das Bauwerk zu fliessen anfängt. Es liegt hiernach ein grosser Vorzug in der Methode, den ganzen Canal mit einer Masse auszufüllen, welche vollständig erhärtet und das Mauerwerk an dieser Stelle ersetzt. Zu diesem Zwecke eignet sich wieder am besten ein stark hydraulischer Mörtel; das dabei anzuwendende Verfahren verdient aber eine nähere Beschreibung.

Bérigny versuchte es zuerst, unter einem Bauwerke die hohlen Räume durch Einspritzen einer dickflüssigen Masse auszufüllen. Unter dem Boden der alten Schiffsdocke zu Rochefort hatte das durchdringende Wasser den Grund ausgespühlt, und es zeigten sich Risse und Versenkungen im Mauerwerke, welche den Einsturz des ganzen Gebäudes befürchten liessen. Durch das erwähnte Verfahren füllte Bérigny die Höhlungen wieder an; er bediente sich dabei einer ausgebohrten eisernen Röhre von 6 Zoll Weite und nahe 4 Fuss Länge, die auf ein im Boden ausgeführtes Bohrloch gestellt wurde. Die Röhre wurde mit einem dicken Thonbrei angefüllt, worauf der passende Kolben mit der Kolbenstange eingesetzt und letzterer mittelst eines Rammklotzes, der 160 Pfund wog, eingetrieben wurde. Sobald man auf diese Art nach mehrmaliger Füllung der Röhre kein Material durch das Bohrloch mehr hineinbringen konnte, so wiederholte man dieselbe Operation in einem zweiten Bohrloche, das etwas über 3 Fuss vom ersten entfernt war und so fort. Bei der Spühlschleuse zu Dieppe, wo dieselbe Reparatur erforderlich war, benutzte Bérigny statt des Thones schon den Mörtel *), der später zu ähnlichen Arbeiten immer angewendet ist. Es mag bei dieser Gelegenheit auch noch die Ausfüllung des Rostes unter den Pfeilern der Brücke zu Tours erwähnt werden, die in den Jahren 1835 und 1836 erfolgte. Man musste hier die Brückenpfeiler ihrer ganzen Höhe nach durchbohren, um zu den Höhlungen unter dem Roste zu gelangen. Das Bohrloch hatte die Länge von 12 Meter oder 38 Fuss, seine Weite betrug 5¼ Zoll. Das Eintreiben des Mörtels unter einem starken Drucke, der von oben angebracht wurde, liess sich wegen des grossen Widerstandes in dem langen Bohr-

*) Sganzin, *programmes*. 4. *édition*. *I*. *p*. 52. Bérigny hat diese Arbeiten auch in einem besondern Mémoire beschrieben.

loche nicht mehr bewirken, daher wählte Beaudemoulin das Verfahren, dass er einen durchbohrten eisernen Kolben, dessen Ventile nach unten aufschlugen, in der Höhe des Rostes, also unmittelbar über den auszufüllenden Räumen, mittelst des Bohrgestänges auf- und abbewegen liess. Dieser Kolben schob also das darüber befindliche Material abwärts und füllte auf solche Art die Höhlungen an. Unter dem zehnten Pfeiler der Brücke sollen auf diese Art 34¼ Cubikmeter, oder 1123 Cubikfuss Mörtel herabgebracht sein; doch war derselbe vorher nicht zubereitet, weil er in diesem Falle zu schnell erhärtete, man sah sich vielmehr gezwungen, die Bestandtheile desselben besonders zu versenken, und die beschriebene Operation bezog sich nur auf den Kalkbrei, während der Sand dazwischen frei eingeschüttet wurde.*)

Die Ausfüllung der ausgesparten künstlichen Canäle, worin die Quellen bis zur vollständigen Erhärtung des umgebenden Mauerwerkes frei abfliessen, geschieht ungefähr auf ähnliche Weise; man darf aber in diesem Falle nie eine ganz abgeschlossene enge Höhlung zu füllen versuchen, denn das darin enthaltene Wasser kann dem eindringenden Mörtel nicht ausweichen, und sonach erfolgt die Füllung eines solchen Raumes gar nicht, oder doch nur sehr unvollständig. Das Verfahren, das man hierbei in Anwendung bringen muss, ist folgendes. Wenn aus dem Bétonbette an einer Stelle eine Wasserader oder ein stärkerer Quell hervortritt, so darf man, wie bereits erwähnt worden, ihn nicht durch Uebermauerung sogleich abzuschliessen versuchen, sondern man muss vielmehr einen künstlichen Canal von mindestens 3 Zoll Weite darstellen, worin das Wasser mit Leichtigkeit abfliessen kann. In diesem Falle verschwindet die Einwirkung des Wassers auf den umgebenden Mörtel und die Fugen können gehörig erhärten. Der Quell wird so weit geleitet, bis man ihn ganz sicher eingefasst hat und man sonach die Schliessung vornehmen kann, ohne ein Durchbrechen des Wassers an einer andern Stelle zu besorgen. Zur Einbringung des Mörtels darf indessen der erwähnte Canal nicht benutzt werden, weil in diesem Falle das Wasser sich nicht zurückdrängen lässt; man muss vielmehr eine besondere Oeffnung zu diesem Zwecke vorrichten, oder dem Canale

*) *Annales des ponts et chaussées.* 1839. *II. p.* 117.

noch eine zweite Mündung geben, die am besten nach oben gekehrt ist, wobei aber auch ganz scharfe Biegungen im Canale vermieden werden müssen. In die obere Oeffnung setzt man das Gussrohr von einer Spritze ein; es ist dieses eine ausgebohrte hölzerne Röhre und das Gussrohr besteht aus Eisenblech. Die lichte Weite der Röhre beträgt etwa 5 Zoll und die des Gussrohres $2\frac{1}{2}$ Zoll. Letzteres wird, nachdem es in der Mündung des Canales eingesetzt ist, sorgfältig verstrichen, um jeden Seitenausfluss zu verhindern. Man füllt nunmehr die hölzerne Röhre mit einem zwar dünnen, aber stark hydraulischen Mörtel an, und es geschieht nicht selten, dass derselbe schon durch sein eigenes Gewicht herabfliesst und den Canal anfüllt, doch pflegt dieses nur im Anfange zu geschehen, und bald setzt er sich, so dass noch besondere Mittel angewendet werden müssen, um ihn herabzutreiben. Dieses geschieht, nachdem die Röhre ganz angefüllt ist, indem man einen Pfropfen aus aufgelöstem Tauwerk bildet und denselben darauf setzt, worüber alsdann eine Kolbenstange kommt, die sich in der hölzernen Röhre ohne Widerstand hin- und herbewegen lässt, und dieses selbst in dem Falle, wenn sie quellen sollte. Diese Stange drückt man nun mit Gewalt hinein, und wenn der todte Druck sie nicht mehr bewegt, so treibt man sie mit Schlägeln, oder auch wohl mit einer Handramme hinein, bis der in der Röhre eingebrachte Mörtel in den Canal gedrungen ist. Hierbei muss man aber aufmerksam sein, dass der Mörtel nicht etwa durch den Pfropf oder zur Seite desselben rückwärts herausquillt, weil er sonst das spätere Herausziehen des Pfropfes sehr erschwert und wohl das Ausheben der Pumpe zu diesem Zwecke nöthig macht; das Letzte ist aber besonders insofern sehr nachtheilig, als die ganze Operation sehr schnell und ohne Unterbrechung ausgeführt werden muss, damit der Mörtel nicht etwa schon erhärtet, während man ihn noch weiter treiben will. Bemerkt man also, dass der Pfropf nicht dicht schliesst, so muss man sogleich die Kolbenstange herausnehmen und eine zweite Lage Werg über die erste legen. Sobald die Kolbenstange soweit herabgetrieben ist, dass man annehmen muss, die Röhre sei entleert, so zieht man sie heraus und fasst mit einem Krätzer den Pfropfen, der gleichfalls entfernt wird. Alsdann füllt man die Röhre sogleich wieder mit Mörtel an und wiederholt dieselbe Operation. Dieses

geschieht so lange, bis der Mörtel in ganz zusammenhängender Masse aus der untern Oeffnung des Canales hervortritt, oder wenn man wegen des hohen Wasserstandes in der Baugrube sich hiervon nicht unmittelbar überzeugen kann, bis die eingespritzte Quantität Mörtel überreichlich genügt, um den ganzen Inhalt des Canales zu füllen. Der Mörtel kann nunmehr von der Quelle nicht sobald durchdrungen werden, weil das Wasser auf eine zu grosse Länge sich einen Weg hindurchbahnen müsste; am sichersten ist es aber immer, diese ganze Operation vorzunehmen, während die Baugrube mit Wasser angefüllt war, das heisst in einer Zeit, wo die Quellen gar nicht wirksam sind. Nach einigen Stunden muss aber der Mörtel schon so steif geworden sein, dass alle Besorgniss in dieser Beziehung verschwindet. Auf solche Art wird der Wasserlauf nicht nur vollständig gesperrt, sondern das Mauerwerk auch durch eine ihm ähnliche Masse ersetzt, so dass der frühere Canal darin kaum noch als eine schwache Stelle angesehen werden kann. Dieses Verfahren ist so sicher, dass man bei einiger Uebung und einiger Vorsicht in seinem Gebrauche wegen des Erfolges gar nicht besorgt sein darf; es missglückt nie, wenn der Canal in seiner ganzen Länge und in beiden Mündungen gehörig geöffnet war. Wenn dagegen diese Bedingungen nicht erfüllt sind, so darf man auch auf einen günstigen Erfolg nicht rechnen, und namentlich ist es in engen und abgesperrten Räumen nicht möglich, den Mörtel einzubringen; hieraus erklärt es sich auch, weshalb die Versuche, das Bétonbette selbst durch eingespritzten Mörtel zu dichten, niemals geglückt sind. *)

Zuweilen ereignet es sich, dass man während des Baues, und so lange die Baugrube noch trocken erhalten werden muss, die Quellen, welche durch das Bétonbette hindurchbrachen und die man in Canälen durch die Uebermauerung geleitet hat, nicht absperren darf, ohne das Bétonbette selbst in Gefahr zu bringen;

*) In den *Annales des ponts et chaussées* befinden sich über diesen Gegenstand zwei Aufsätze, der eine ist von Charrié verfasst (1831. II. *p.* 236.), der andere von Raynal (1837. I. *p.* 50.); die vorstehende Beschreibung des Verfahrens verdanke ich jedoch grossentheils der sehr gefälligen mündlichen Mittheilung des rühmlichst bekannten *Ingénieur en chef Mary* in Paris, der ähnliche Arbeiten vielfach geleitet hat.

namentlich ist dieses der Fall, wenn das letzte schon früher zerbrochen war und es sich mit der Uebermauerung in der Mitte erhebt, sobald die Quellen mit ihrem vollen Drucke von unten dagegen wirken. Es geschah dieses bei einem Schleusenbau, woselbst nicht nur der Boden sich bewegte, sondern auch die darauf stehenden Bétonfangedämme, jenachdem der Wasserdruck gegen den Boden wirksam war oder nicht, sich in ihrem obern Theile noch um $\frac{1}{8}$ Zoll nach der innern und äussern Seite bewegten. Glücklicherweise hat diese Schleuse, wenn sie vollendet sein wird, nur einen sehr unbedeutenden Wasserstand abzuhalten, so dass man wohl keine Besorgniss für die Zukunft hegen darf; es lehrt dieser Umstand aber, wie wichtig es ist, einen vollständigen Bruch des Bétonbettes durchaus zu verhindern und deshalb namentlich beim Anwachsen des Grundwassers den Boden nicht einem zu starken Drucke auszusetzen.

Um das Durchdringen der Quellen durch das Bétonbette zu verhindern, wie sich dieses sehr häufig zu zeigen pflegt, so hat man in Frankreich wiederholentlich versucht, den Béton nicht unmittelbar auf den Boden der Baugrube, sondern vielmehr auf eine ausgespannte und versenkte Leinwand zu schütten, die vorher wasserdicht gemacht worden. Die Idee hierzu soll zuerst von Treussart herrühren; sie ist etwa seit zehn Jahren mehrfach, und wie es scheint, immer mit günstigem Erfolge angewendet worden; man muss dieses auch vermuthen, denn eines Theils werden dabei die im Bétonbette etwa vorkommenden schwachen und undichten Stellen vor dem ersten Hinzutreten der feinen Wasseradern gesichert, und sodann verhindert die Leinwand auch die Ablösung des Schlammes von der Oberfläche des natürlichen Bodens und die Verunreinigung des Bétons durch denselben. Bei den Schleusenbauten in dem Ardennen-Canale hat man besonders hiervon Gebrauch gemacht und eine starke und mehrfach mit Theer bestrichene Leinwand benutzt; um dieselbe aber gegen eine Beschädigung durch die scharfen Ecken der Steine zu sichern, so hat man sie sowohl von oben, als auch von unten durch Lagen gewöhnlicher Leinwand bedeckt. Eine andere Vorsichtsmaassregel, die bei der Schleuse zu Brienne noch in Anwendung kam, bestand darin, dass man kurze Holzstücke in dünnen Bündeln mehrfach unter der Leinwand und zwar senkrecht gegen

die Längenaxe der Schleuse befestigte, um auf diese Art den Quellen einen Seitenabfluss wie in Rigolen zu eröffnen. *) Wenn eine solche Anordnung überhaupt vortheilhaft ist, so möchte sie auf einem stark durchdringlichen Boden, wo doch gerade vorzugsweise die Bétonfundirungen ihre Anwendung finden, ganz überflüssig sein.

Das vorstehend beschriebene Verfahren bei Bétonfundirungen bezog sich zunächst auf den Fall, wenn der Baugrund sehr sandig ist und er bei einer starken Senkung des Grundwassers aufgelockert wird und dadurch an Tragfähigkeit verliert. Die erwähnten Methoden bleiben aber ganz unverändert, wenn man bei einem festen Baugrunde nur wegen der Reichhaltigkeit der zudringenden Quellen zu dieser Fundirungsart gezwungen ist. Namentlich tritt der letzte Fall in einem klüftigen Kalkboden häufig ein, und ebenso in jedem andern Felsboden im Flussbette selbst, oder in grosser Nähe desselben. Auch hier lässt sich durch Ausführung des Bétonbettes und der Fangedämme eine bequeme Baustelle am leichtesten darstellen, und es bleibt hierüber nur zu erwähnen, dass in solchen Fällen vor der Versenkung des Bétons häufig nicht nur der natürliche Boden stellenweise auszubrechen, oder auf andere Art zu entfernen ist, sondern dass die darin befindlichen Vertiefungen auch ausgefüllt werden müssen. Dieses geschieht am besten durch eine Steinschüttung, welche man unter Wasser anbringt und demnächst mit feinerem Kiese dichtet, worauf die Bétonschichten versenkt werden.

Zuweilen hat man auch den Béton zur Darstellung hoher Mauermassen unter Wasser benutzt, und besonders zu Brückenpfeilern, die in tiefen Flussbetten erbaut werden müssen. Das Verfahren ist hierbei dieses, dass man den ganzen Raum für die Pfeiler mit einer Spundwand, oder auch wohl nur mit einer andern ziemlich dichten Wand umgiebt, denn wenn auch Fugen von 1 oder 2 Zoll darin vorkommen, so wird noch immer keine merkliche Quantität Béton hindurchfliessen. Der so umschlossene Raum wird so tief ausgebaggert, dass man keine Unterspühlung des

*) Ueber die Anwendung der wasserdichten Leinwand zu diesem Zwecke handelt besonders ein Aufsatz von Barré de Saint-Venant in den *Annales des ponts et chaussées.* 1834. *I. p.* 125.

fertigen Pfeilers besorgen darf; alsdann geht man zur Versenkung des Bétons über und setzt dieselbe so weit fort, bis man nahe unter dem kleinsten Wasserstande das gewöhnliche Mauerwerk beginnen kann. In dieser Höhe pflegt man die Stärke des Pfeilers bedeutend zu reduciren, und sonach gewinnt man hier hinreichenden Raum, um eine leichte Umschliessung des Pfeilers etwa durch einen kleinen Bétonfangedamm oder durch eine schwache Ziegelmauer vorzunehmen, und im Schutze derselben wird es möglich, einen Fuss tief, oder auch wohl noch tiefer das Wasser über dem Pfeiler auszuschöpfen.

Dieses Verfahren setzt aber voraus, dass die Pfahlwand in den Boden eingerammt werden kann, wobei möglicher Weise ein Pfahlrost, oder eine andere Fundirungsart, sowie die Anlage von Fangedämmen, noch denkbar bleibt; wenn dagegen ein zusammenhängender Felsgrund das Flussbette bildet und derselbe sehr unregelmässig gestaltet ist, auch wohl vielfache Klüfte und Spalten sich darin vorfinden, wodurch ein heftiger Wasserzudrang unterhalten und jeder Versuch zur Trockenlegung der Baustelle vereitelt wird, alsdann zeigen sich alle bisher erwähnten Fundirungsarten als ganz ungenügend, und selbst die eben beschriebene Fundirung in Béton wird schwierig, indem es nicht leicht ist, den Raum hinreichend dicht zu umschliessen. Man hat in Frankreich in solchen Fällen zuweilen eine Umschliessung noch auf die Art dargestellt, dass man von leichten Rüstungen, die zum Theil nur auf Böcken lagen, Löcher in die Felsen bohrte, welche den Ecken des Brückenpfeilers entsprachen, oder die in die Richtung der Seitenflächen desselben trafen. In diese Löcher trieb man passende Pfähle ein und versenkte an denselben doppelte Zangen, welche die Pfahlreihe umfassten und auf diese Art etwas Aehnliches darstellten, wie die Zwingen, die man beim Einrammen der Spundwände benutzt. Aehnliche Zwingen wurden alsdann auch über Wasser an die Pfähle angebracht und damit verbolzt. Nunmehr konnte man die einzelnen Pfähle, welche die dicht schliessende Wand darstellen sollten, zwischen beiden Paaren Zwingen einstellen, und indem sie sämmtlich bis zum Boden herabgeschoben wurden, so schlossen sie sich an die Unebenheiten des Grundes an, und die Versenkung des Bétons, sowie die weitere Ausführung des Pfeilers konnte in der beschriebenen Art vorgenommen werden.

Dieses Verfahren ist bei der Brücke zu Souillac, sowie auch bei der Schleuse zu Grafft in Ausführung gebracht. *)

Endlich muss hier noch angeführt werden, dass man in neuerer Zeit den Béton sehr häufig und namentlich in Frankreich nicht nur unter Wasser, sondern auch in solchen Fällen anwendet, wo ein gewöhnliches Mauerwerk sehr gut ausführbar wäre. So hat man die Bassins zu Wasserleitungen verschiedentlich ganz aus Béton erbaut; das Reservoir Racine in der Strasse gleiches Namens in Paris, das in drei Abtheilungen 6000 Cubikmeter (194000 Cubikfuss) fasst, ist in dieser Art construirt. Der Baugrund war hier so schlecht, dass man mit den Fundamenten der Pfeiler, die wieder nur aus Béton bestehen, 15 Fuss tief herabgehen musste. Zwischen diese Pfeiler sind Kreuzgewölbe von etwa 10 Fuss Weite gespannt, die allein aus Béton bestehen und mit ihrer Uebermauerung den Boden des Bassins bilden; sie haben sich sehr gut gehalten und man bemerkt nur hin und wieder die Bildung einzelner Tropfen an der untern Fläche dieser mit einem 10 Fuss hohen Wasserstande belasteten Gewölbe. Es war die Absicht, die Bassins von innen mit einer festen Cementschicht zu überziehen, die natürlich auch von Zeit zu Zeit ausgebessert werden sollte; hierbei zeigte sich aber der Uebelstand, dass auf dem Béton kein Ueberzug sicher haftet, und aus diesem Grunde hat man das noch in der Ausführung begriffene Bassin Vaugirard neben dem Boulevard des Invalides mit Wänden umgeben, die nur im Innern aus Béton bestehen und von beiden Seiten mit Stücken des sehr porösen Mühlsteines, der an der Marne bricht, verkleidet sind. Auf diesen haftet der Ueberzug aus Roman Cement sehr gut, und derselbe lässt sich daran, so oft es nöthig ist, auch erneuern. Dieses letztgenannte Bassin besteht aus zwei Abtheilungen und fasst im Ganzen 10000 Cubikmeter oder 323000 Cubikfuss; es wird durch dieselben Leitungen aus dem Ourcq-Canale gespeist, welche die Springbrunnen auf dem Place de la Concorde mit Wasser versehen, und zwar geschieht die Füllung dieses Bassins nur während der Nacht, wenn die Springbrunnen nicht fliessen. Die Mauern des Bassins Vaugirard sind 16 Fuss hoch, oben 5 Fuss breit, zu beiden Seiten stark

*) *Collection de dessins, rélatifs à l'art de l'Ingénieur.*

dossirt und unten noch mit einer überwölbten Galerie umgeben, durch welche man die Filtrationen um so leichter zu entdecken und deren nachtheiligen Einfluss auf die umgebenden Grundstücke zu beseitigen hofft.

§. 48.

Fundirung in Caissons.

Man kannte schon im Alterthume das Verfahren, in tiefem Wasser Schiffe zu versenken und dadurch künstlich einen Baugrund zu bilden, worauf man Gebäude und namentlich Hafendämme mit Sicherheit stellen konnte; diese Constructionsart hängt mit der vor einigen Jahrzehenden vielfach angewandten Fundirungsart in Caissons nahe zusammen, und letztere ist nur als eine Vervollkommnung der ersten Methode zu betrachten. Wenn man ein Schiff, das im Wasser schwimmt, nach und nach mit Steinen anfüllt, oder noch besser, wenn man es gehörig ausmauert, so wird diese Arbeit, so lange das Schiff noch schwimmt, ganz im Trocknen ausgeführt werden können, und wenn man später das Wasser hineintreten lässt, so sinkt das ganze Mauerwerk mit dem Schiffe herab; man erreicht aber auf solche Art den Vortheil, dass man eine grosse zusammenhängende Masse darstellt, welche zum Tragen des Oberbaues viel geeigneter ist, als eine lose Steinschüttung, und besonders wird sie ein sicheres Fundament bilden, wenn das Schiff sich regelmässig herabsenkt und mit einer grossen Basis nach dem Versinken auf dem Grunde aufsteht. Benutzt man hierbei statt gewöhnlicher Schiffe solche, die besonders zu diesem Zwecke erbaut sind, so wird man ihnen einen flachen Boden und senkrechte Wände geben. Der erstere vertritt alsdann die Stelle des Rostes, und die letzteren sind nur während des Baues selbst, wo sie als Fangedämme dienen, von Nutzen; man wird sie also in der Art befestigen, dass sie sich von oben aus ablösen und entfernen lassen, und man kann alsdann auch noch bei andern ähnlichen Schiffen oder Caissons von denselben Gebrauch machen. Es ist nicht zu leugnen, dass dieses Verfahren die Schwierigkeiten einer Fundirung in tiefem Wasser wesentlich beseitigt, und es fand daher besonders in Frankreich und England vielfache Anwendung; in Deutschland ist davon beinahe nie

Gebrauch gemacht worden, aber auch auswärts ist man in der neuesten Zeit, nachdem die Bétonfundirung üblich geworden ist, hiervon beinahe ganz zurückgekommen, und es haben dazu wohl die Unfälle wesentlich beigetragen, welche bei den in Caissons fundirten Bauwerken sich häufig ereigneten. Aus diesen Gründen erscheint es nicht mehr passend, die Methode noch umständlich mit allen dabei vorkommenden Modificationen zu beschreiben, es wird vielmehr genügen, das Verfahren im Allgemeinen zu bezeichnen.

Zunächst entsteht die Frage, ob man den Boden des Caissons unmittelbar auf den gehörig geebneten Grund, oder auf Pfähle stellen will; im ersten Falle vertritt der hölzerne Boden die Stelle eines liegenden Rostes und im zweiten die eines Pfahlrostes. Beides kommt wirklich vor. Wenn man den Kasten unmittelbar auf den Grund stellt, so muss letzterer natürlich geebnet und auch so tief gegen das umgebende Flussbette gesenkt werden, dass keine Unterspühlung eintreten kann. Zu diesem Zwecke umgiebt man die Baustelle mit einem leichten Fangedamme, der, wenn er auch nicht wasserdicht ist, doch wenigstens das heftige Durchströmen verhindern muss, weil der starke Strom immer Sand und Kies herbeiführen und dadurch die regelmässige Baggerung unmöglich machen würde.

De Cessart, der besonders die Fundirung in Caissons vielfach angewendet und empfohlen und ihre Vorzüge namentlich in Bezug auf Kostenersparung wiederholentlich gerühmt hat, wendete beim Bau der Brücke zu Saumur das folgende Verfahren an. Es wurden zuerst zwei Reihen Pfähle in einigem Abstande rings um die Brückenpfeiler eingerammt, und den Zwischenraum zwischen beiden Pfahlreihen füllte man mit Senkfaschinen aus, das ist mit Faschinen, in welche Steine eingebunden waren, die sich also durch ihr eignes Gewicht fest in einander lagerten und dadurch ein starkes Durchströmen des Wassers verhinderten. In solcher Art wurde die Baugrube indessen nicht ringsum abgeschlossen; es befand sich vielmehr auf der von dem Strome abgekehrten Seite derselben noch eine Oeffnung, um den Kasten hineinzubringen. Nachdem diese Umschliessung bewirkt war, so wurde die Baugrube durch Ausbaggerung vertieft, und sobald man die gehörige Tiefe erreicht hatte, so erfolgte die Ausebnung des Grundes, damit der Boden des Caissons überall gleichmässig zum Tragen

kommen konnte. Dieses geschah, indem die tieferen Stellen mit Kies gefüllt, oder auch wohl der ganze Raum mit Kies beschüttet und alsdann die Oberfläche desselben mit einer Schiene horizontal abgestrichen wurde. *)

Wenn dagegen das Caisson auf Pfähle gestellt werden soll, so kommen wieder die beiden Fälle vor, dass nämlich entweder der Rost bis zum Flussbette und vielleicht auch noch darunter versenkt wird, oder dass man ihn nur eben unter den niedrigsten Wasserstand bringt. Das letzte Verfahren ist jedenfalls das bequemere, es tritt aber dabei der Uebelstand ein, dass man die Zwischenräume zwischen den Pfählen, wie §. 35 bereits erwähnt worden, nicht gehörig ausfüllen und gegen ein Ausspühlen sichern kann; man pflegt alsdann wohl die Rostpfähle mit einer Spundwand zu umschliessen, und wenn der innere Raum gehörig ausgefüllt ist, eine Steinschüttung rings um die Spundwand anzubringen. Wenn dagegen bei Anwendung der Rostpfähle die Versenkung des Rostes bis unter das Flussbette stattfinden soll, so muss man wieder den leichten Fangedamm darstellen und die Baggerung so tief herabführen, dass man mit der Grundsäge die Pfähle in der gehörigen Tiefe abzuschneiden im Stande ist. Hierauf werden die Zwischenräume zwischen den Pfählen gehörig ausgefüllt und in einer geringen Höhe über den Pfahlköpfen horizontal abgestrichen; dass dabei die Kiesschüttung über die Pfähle noch etwas hervorragt, ist nicht als nachtheilig anzusehen, indem sie sich setzt oder eingedrückt wird und man gerade dadurch dem Entstehen hohler Räume unter dem Roste vorbeugt.

Die Dimensionen der Caissons müssen der Grösse des darin auszuführenden Bauwerkes entsprechen, doch kann man natürlich sehr lange Kaimauern nicht in einzelnen Caissons ausführen, man muss vielmehr alsdann eine Trennung vornehmen und die einzelnen Theile mit einander möglichst zu verbinden suchen, wovon später die Rede sein wird. Die Höhe der Wände muss ferner so gewählt sein, dass das Mauerwerk nach der Versenkung bis über das niedrigste Wasser vorragt und man also den folgenden Theil des Baues schon über Wasser ausführen kann. Findet auf der Baustelle Ebbe und Fluth statt, so pflegt

*) De Cessart, *travaux hydrauliques. Vol. I.* Paris 1806.

man den Wänden der Caissons nur eine solche Höhe zu geben, dass das Mauerwerk beim Versenken bis über den Wasserstand der Ebbe reicht. Bei der Spühlschleuse zu Dieppe, die gleichfalls de Cessart baute, war die Anordnung in dieser Art getroffen. So lange das Caisson noch schwimmt, so hebt es sich mit der Fluth und sinkt mit der Ebbe, sobald man es aber versenken will, so wird während der Ebbe das Wasser eingelassen, und nunmehr steht es fest, und bei jedem niedrigen Wasser kann man den Bau weiter fortsetzen. Dass die Wände gehörig stark sein müssen, um einem Wasserdrucke, der ihrer Höhe entspricht, zu widerstehen, darf kaum erwähnt werden.

Die Construction des Bodens ist von der Aufstellungsart des Caissons abhängig; wenn keine Rostpfähle vorkommen und sonach der ganze Boden gleichmässig trägt, so werden die Rostbalken nur von unten mit Bohlen verkleidet; wenn dagegen Pfähle eingerammt sind, so ist es dringend nöthig, dass die sämmtlichen Köpfe derselben auf die Balken treffen, und man muss alsdann das Einrammen zwischen gewissen versenkten Lehren vornehmen, wodurch man allein in einer grösseren Tiefe unter Wasser eine regelmässige Lage der Pfahlköpfe erreichen kann. Vortheilhafter ist jedoch die Methode, die man in neuerer Zeit in Frankreich angewendet hat, wonach der Boden des Caissons nicht mit Bohlen verkleidet, sondern vielmehr aus einer dichten Balkenlage gebildet wird. Man erreicht dadurch den Vortheil, dass jeder Pfahlkopf, wo er sich auch befinden mag, vollständig zum Tragen kommt. Eine Verbindung des Pfahles mit dem Boden des Caissons, oder mit den Rostschwellen durch Zapfen, oder auf andere Art, lässt sich nicht darstellen, sie ist auch unnöthig, indem das grosse Gewicht des fertigen Baues ein Verschieben ganz undenkbar macht und die Pfähle sich auch wirklich etwa einen halben Zoll tief einzudrücken pflegen.

Fig. 259 zeigt die Construction eines Caissons, wie solcher bei mehreren neuern Brücken in Paris benutzt worden ist. Fig. 259 *a* stellt auf der linken Seite den Boden und auf der rechten Seite die Ansicht von oben dar; Fig. 259 *b* und *c* zeigen dagegen rechts die Seiten- und die vordere Ansicht, und links die beiden Durchschnitte. Der Boden besteht aus einer geschlossenen Balkenlage, welche der Länge nach durch fünf Gänge von starken Bohlen

verbunden ist und die ausserdem noch durch einen Rahmen umschlossen wird, worin die sämmtlichen Balken mit Zapfen eingreifen. Zur Verbindung der Balken mit dem Rahmen dienen aber noch eine Menge von Schraubenbolzen, die in die ersteren eingelassen sind. Der erwähnte Rahmen ist zugleich Schwelle für die Seitenwände; letztere bestehen theils aus Stielen und theils aus Streben, und zwischen die Stiele sind in vorgerichteten Nuthen Bohlenstücke eingeschoben und Rahmstücke bedecken das Ganze. Um diese Wand gehörig mit dem Boden zu verbinden, so sind an dem Rahmen, der den Boden umgiebt, starke eiserne Haken angebracht; in diese greifen eiserne Zugstangen ein, die oben, wo sie mit Schraubengewinden versehen sind, durch den obern Rahmen der Wand, oder durch die darauf liegenden Zangen hindurchgreifen und mittelst Schraubenmuttern dagegen befestigt werden. Fig. 260 zeigt diese Zugstange nebst dem erwähnten Haken. Sobald man die Wände nach dem Versenken des Caissons entfernen will, so darf man nur die Schraubenmuttern über den Zugstangen lösen und letztere herausnehmen, alsdann steht die Wand nur noch mit den Zapfen der Stiele und Streben in der Schwelle auf und sie ist sonach sehr leicht zu entfernen. Endlich wäre noch auf die Zangen in der Oberfläche aufmerksam zu machen, wodurch das Einbiegen der Wände verhindert wird.

Die Erbauung solcher Caissons erfolgt, wie die der Schiffe, auf geneigten Ebenen am Ufer, von wo sie leicht in das Wasser herabgleiten, doch ist hierbei eine grosse Vorsicht nöthig, weil sie bei ihrer Länge und bei der schwachen Verbindung, die man ihnen nur giebt, leicht brechen. Um sie gehörig wasserdicht zu machen, wird jede einzelne Fuge ebensowohl im Boden, wie an der Seite, von aussen durch eingetriebenes Werg gedichtet und demnächst mit heissem Pech übergossen. Gewöhnlich erhalten die Caissons an einer Seite noch ein Schütz, damit man beim Versenken das Wasser sanft einlassen kann, und einige Pumpen, die gleichfalls aufgestellt sind, dienen theils dazu, das eindringende Wasser zu entfernen, und theils auch, falls es nöthig sein sollte, die Caissons nach der Versenkung nochmals zu heben, um sie etwa noch genauer einzurichten.

Ueber die Ausführung des Mauerwerks in den Caissons ist noch zu bemerken, dass dieses sehr gleichmässig vertheilt werden,

oder dass man wenigstens durch eine sonstige Beschwerung für eine gleiche Belastung aller Theile sorgen muss, weil sonst leicht ein Bruch erfolgen kann. Sobald der Grund, auf dem das Caisson aufstehen soll, gehörig ausgeglichen ist, so pflegt man das letztere sogleich darüber zu führen und es, sobald es möglich ist, mit Wasser zu füllen und dadurch zu versenken; man bemüht sich auch immer, den Bau so anzuordnen, dass die Maurerarbeit in dieser Zeit weit genug gediehen ist, um die Versenkung gleich erfolgen zu lassen, weil sonst die erwähnte Ausebnung ihre Regelmässigkeit bald verlieren kann. Wenn das Caisson an der passenden Stelle steht, so wird die nöthige Beschwerung desselben durch Aufpacken von Steinen auf einer darüber angebrachten Rüstung vorgenommen und man pumpt das eingelassene Wasser heraus. Auf diese Art kann man im Schutze der Seitenwände, wie zwischen Fangedämmen, das Mauerwerk bis zur gehörigen Höhe herausführen. Zuweilen lässt man aber auch beim Versenken gar kein Wasser hinein und bewirkt dieses vielmehr nur durch die aufgebrachte Beschwerung; man erreicht dadurch den Vortheil, dass das Mauerwerk schneller bindet. Jedenfalls leidet das Caisson weit weniger, wenn es möglichst bald versenkt wird, als wenn man es lange Zeit hindurch mit dem begonnenen Mauerwerke schwimmen und es wohl gar, wenn Ebbe und Fluth stattfindet, abwechselnd immer auf den Grund setzen lässt.

Wenn man das ganze Bauwerk nicht in einem einzigen Caisson ausführen kann, was namentlich bei Kaimauern der Fall ist, so muss man für die gehörige Verbindung der besonders fundirten Theile sorgen. De Cessart spannte zu diesem Zwecke nach der Entfernung der Caissonwände Bögen von der einen Mauer zur andern und zwar in solcher Tiefe, wie dieses der Wasserstand irgend zuliess. Es lassen sich hierbei aber die Oeffnungen unter den Bögen nicht gehörig schliessen und daher dürfte ein anderes Verfahren den Vorzug verdienen, welches Lamandé bei den Kaimauern in Paris anwandte. Derselbe suchte nämlich die Zwischenräume zwischen den langen Wänden zweier neben einander versenkten Caissons durch vorgeschlagene Pfähle und leichte Fangedämme möglichst zu dichten, worauf die beiden nächsten Wände an der schmalen Seite der beiden Caissons ent-

fernt wurden, so dass beide Caissons sich in einen verwandelten. Hierauf konnte man das Intervall der Mauer vom Grunde aus aufführen, und damit nicht die Wände der sämmtlichen Caissons stehen bleiben durften und die ganze Baugrube sich zu sehr ausdehnte, so wurde jedesmal in der Nähe der Stelle, die man auf solche Art ausmauern wollte, der Raum zwischen der langen Wand des Caissons und dem fertigen Mauerwerk geschlossen, und sonach umfasste der wasserfreie Raum jedesmal nur diejenige Stelle, woselbst die Verbindung eben darzustellen war.

Ende des ersten Theiles.

Druck und Papier der Hofbuchdruckerei in Altenburg.

BIBLIOTHECA
REGIA
MONACENSIS.

(D xl 7

Fuch

Bayerische StaatsBibliothek
Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Hagen, Gotthilf,

Handbuch der Wasserbaukunst

Bd.: 1,[1]

Königsberg in Preussen 1841
A.hydr. 47 y-1,1
urn:nbn:de:bvb:12-bsb10138014-5